

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Diagnostika radiálních kouřových ventilátorů

Diagnostics of the Radial Chimney Fans

Student: Bc. Zdeněk Matela

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Blata

Ostrava 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Bc. Zdeněk Matela

Jméno a příjmení: Bc. Zdeněk Matela

Adresa: Brusné 156, 768 61 Bystřice pod Hostýnem

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Janu Blatovi za vedení mé práce a cenné připomínky.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MATELA, Z. *Diagnostika radiálních kouřových ventilátorů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 63 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Diplomová práce se zabývá problematikou konstrukce a diagnostikou radiálních a axiálních ventilátorů. Provedení diagnostiky je pomocí bezdemontážní metody vibrodiagnostiky, s popsanou teoretickou přípravou a s určením poruchových frekvencí jednotlivých komponent. Dále jsou popsány jednotlivé součásti ventilátorů a vysvětleny činnosti odprašovacího zařízení kotelny a odlučování dřevního prachu. Následuje příprava vibrodiagnostiky v podobě stanovení měřicích míst, stanovení snímače, stanovení měřicího přístroje a způsobu vyhodnocení. V další části jsou popsána praktická měření s následnou analýzou a vyhodnocením frekvenčních spekter vibrací. V závěru jsou shrnuty výsledky měření, s návrhem nápravného opatření.

ANNOTATION OF THESIS

MATELA, Z. *Diagnostics of the Radial Chimney Fans: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production machines and design, 2011, 63 s. Thesis head: Blata, J.

The Master Thesis focuses on problems of the construction and diagnostics of the radial and axial fans. Diagnostics is made up by the vibrodiagnostics method with described theoretical preparation and with the determination of the disturbance frequencies of the components. Then there are described fans components and explained activities of the dust-collecting appliance of the boiler house and wood dust separation. After that follow the preparation of the vibrodiagnostics - determination of the measure places, sensor, measure instrument and the method of evaluation. In the next part there are described practical measurements followed by the analysis and evaluation vibration's frequency spectrum. At the end there are summarized the measure results, with the concept of the corrective measures.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD	12
1 TEORETICKÁ PŘÍPRAVA DIAGNOSTIKY VENTILÁTORŮ.....	14
1.1 Vibrodiagnostika.....	15
1.1.1 Valivá ložiska.....	16
1.1.2 Provozní vyvažování rotujících objektů.....	19
1.1.3 Nesouosost.....	22
1.1.4 Letmo uložený rotor, ohnutý hřídel, mechanická vůle.....	23
1.1.5 Vibrace asynchronního elektromotoru.....	23
1.1.6 Měření a vyhodnocení vibrací.....	25
2 ODPRAŠOVACÍ ZAŘÍZENÍ KOTELNY	30
2.1 Součásti odprašovacího zařízení.....	30
2.1.1 Radiální ventilátor RVK 1600.....	30
2.1.2 Asynchronní elektromotor SIEMENS 1LA6-4AA60-Z.....	33
2.1.3 Činnost odprašovacího zařízení.....	34
3 ODLUČOVÁNÍ DŘEVNÍHO PRACHU.....	36
3.1 Součásti odlučovací stanice.....	36
3.1.1 Axiální ventilátor C42-1400.....	36
3.1.2 Asynchronní elektromotor AF-1166-6.....	39
3.1.3 Činnost odlučovací stanice.....	40
4 PŘÍPRAVA VIBRODIAGNOSTIKY VENTILÁTORŮ.....	43
4.1 Provozní spolehlivost zařízení.....	43

4.1.1 Provozní spolehlivost radiálních ventilátorů.	43
4.1.2 Provozní spolehlivost axiálních ventilátorů.....	43
4.2 Stanovení měřicích míst.....	44
4.3 Výpočet budících frekvencí.	45
4.4 Stanovení druhu a uchycení snímače.....	46
4.5 Stanovení měřicího přístroje.	47
4.6 Vyhodnocení vibrací.	48
4.6.1 První kritérium – velikost vibrací.	48
4.6.2 Druhé kritérium – změna velikosti vibrací.	49
5 ANALÝZA MĚŘENÍ FREKVENČNÍCH SPEKTER.....	50
5.1 Výpočet frekvencí radiálního ventilátoru.	50
5.2 Analýza frekvenčního spektra radiálního ventilátoru.....	52
5.3 Výpočet frekvencí axiálního ventilátoru.....	55
5.4 Analýza frekvenčního spektra axiálního ventilátoru.	56
6 ZÁVĚR.....	62
LITERATURA	63

Seznam použitého značení:

β	kontaktní úhel	[°]
B_d	průměr valivého elementu ložiska	[mm]
BPFI	poškození vnitřního kroužku ložiska	[Hz]
BPFO	poškození vnějšího kroužku ložiska	[Hz]
BSF	poškození valivých elementů ložiska	[Hz]
Δp_{cv}	dopravní tlak	[Pa]
f_o	otáčková frekvence	[Hz]
f_L	lopatková frekvence	[Hz]
FTF	poškození klece ložiska	[Hz]
n	počet valivých elementů ložiska	[-]
n	otáčky	[min ⁻¹]
n_L	otáčky oběžného kola	[min ⁻¹]
P	výkon	[W]
P_d	střední průměr ložiska	[mm]
Q	průtok	[m ³ .s ⁻¹]
RPM	otáčky	[min ⁻¹]
t	teplota	[°C]

Seznam použitých zkratk:

ACMT	analýza stavu pomaluběžných ložisek
atd	a tak dále
ČSN	Česká technická norma
FFT	Fast Fourierova transformace (rychlá Fourierova transformace)
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)
RMS	efektivní hodnota signálu

Úvod

Výroba nábytku je jedním z důležitých odvětví průmyslu let minulých, současných i budoucích. Jedním z předních výrobců židlí a stolů je česká společnost TON a.s. v Bystřici pod Hostýnem, kterou v roce 1861 založil Michael Thonet. Společnost vychází z tradice řemeslného umění za současné aplikace nových trendů v nábytkářském průmyslu. Produkty jsou v současnosti exportovány do více než 60 zemí světa a jsou vyhledávanou značkou architektů, provozovatelů hotelů, restaurací, kaváren a v neposlední řadě také domácností.

Díky kvalitním výrobkům získává společnost řadu ocenění, v neposlední době cenu **RED DOT DESIGN AWARD 2011**, jenž se řadí mezi největší a nejuznávanější soutěže na světě, které se zabývají zpracováním a designem produktů a cenu **HONORABLE MeNTION** v kategorii Product Design 2011. V České republice získala společnost prestižní ocenění **Výrobce roku 2010**, kterou udělovala Akademie designu České republiky v kategorii **CZECH GRAND DESING**.

Podle principu jejího zakladatele tak společnost navazuje na nejstarší výrobu ohýbaného nábytku již 150 let. Jedná se o technologii výroby nábytku z bukového dřeva, která spočívá v napaření dřevěného hranolku sytou párou, aby se dal lépe ohýbat. Výrobu páry zajišťuje technické zařízení kotelny, jež je tvořena provozním souborem dvou kotlů na tuhá paliva o výkonu 32 MW se spalovacím zařízením.

Pro zabezpečení emisních limitů a dalších podmínek provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší dle vyhlášky č. 117/1997 Sb. Ministerstva životního prostředí je součástí odprašovací zařízení kotelny. Odprašovací zařízení z kotlů je za mechanickými odlučovači, které tvoří první stupeň odprášení, napojeno do látkových hadicových filtrů ALFA JET PLUS s regenerací tlakovým vzduchem, které má za hlavní úlohu odloučit zbylé prachové částice z odsávaných spalin. Prachové částice padají do výsypky filtru, odkud jsou kontinuálně odváděny pomocí rotačního podávače do šnekového dopravníku. Spaliny z filtru jsou odtahovány dvěma radiálními ventilátory RVK 1600 do výtlačného potrubí napojeného na komín, ze kterého jsou rozptýlovány do okolního prostředí.

Další důležitou technologií při opracování dřeva jsou zařízení, jež jsou určena zejména k dopravě a skladování dřevního odpadu s podílem dřevního prachu. Technologie spočívá v potrubní dopravě dřevního odpadu z pracovišť, kde se dřevo opracovává a prach vzniká, přes průchozí dopravní ventilátory do odlučovací stanice, sestávající ze dvou stupňů cyklónových odlučovačů v šestnácti větvích. Čistý vzduch je přes dva ventilátory odváděn do komína a následně přímo do volné atmosféry. Odpad odloučený v prvním stupni jde z každé osmice cyklonů přes rotační podavače na dopravní pás, ze kterého se sype svodkou do rozdělovače. Z něj je možné tlakovou dopravou přes dopravní ventilátory umístěné v budově odlučovací stanice dopravit materiál do samostatné budovy sila nebo do sila kotelny.

Cílem této diplomové práce je provedení rešerše diagnostiky radiálních kouřových a axiálních ventilátorů, provedení praktických měření, následné analýzy měření a vyhodnocení frekvenčních spekter. V závěru diplomové práce bude provedeno celkové vyhodnocení měření a návrh řešení.

1 Teoretická příprava diagnostiky ventilátorů

Zvyšování provozuschopnosti a provozní spolehlivosti, zajištění delších intervalů mezi údržbářskými odstávkami, lepší a efektivní technická podpora, účinnější využití informací, jsou známé způsoby zvyšování produktivity výroby, ale bohužel ne vždy plně využívané.

Cílem každé údržby je v nejjednodušším a základním pohledu udržovat výrobní zařízení v technicky dobrém a provozuschopném stavu při vynakládání optimálních nákladů. Splnění daného cíle je velmi obtížné, údržba bezesporu patří k základním procesům každé výroby, ale je procesem velmi rozporným, neboť na straně jedné spotřebovává finanční prostředky, pracovní sílu, snižuje časový fond apod. a na straně druhé odstraňuje následky opotřebení, čímž prodlužuje životnost a zvyšuje provozní spolehlivost.

K nejdůležitějším prostředkům zajištění údržby patří metody technické diagnostiky, která se zabývá bezdemontážními a nedestruktivními metodami a prostředky stanovení technického stavu daného stroje či zařízení. V praxi je hlavním nástrojem kontrolně inspekční a revizní činnost, která rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných oprav.

Správnost a jednoznačnost diagnózy zkoumaného stroje či zařízení závisí na optimálním návrhu diagnostického systému, a to i z hlediska ekonomického a bezpečnostního a na pečlivé analýze diagnostikovatelnosti vybraných možných závad.

Z ekonomického hlediska je přínos zavedení technické diagnostiky zaměřen na:

- Snižování nákladů na údržbu a provoz zařízení
- Snižování nákladů na řízení z hlediska plánování a sledování možných odstávek na údržbu
- Snižování nebezpečí možných havárií
- Snižování spotřeby energie, prodloužení životnosti zařízení

Z technologického hlediska je přínos zavedení technické diagnostiky zaměřen na:

- Identifikaci poškozených strojů a zařízení
- Stanovení zbytkové životnosti do nutné opravy
- Naplánování termínů údržby a kontrol
- Identifikace poškozených částí strojů a zařízení

Diagnostický signál je často zahlcen rušením, způsobeným vlivem dalších jevů v daném objektu a vlivem okolního prostředí. Z toho vyplývá, že je nutno změřený diagnostický signál nejen analyzovat z hlediska detekce, lokalizace a rozpoznání typu závady, ale také z hlediska potlačení rušení.

1.1 Vibrodiagnostika

Základním cílem sledování vibrací rotujících strojů je poskytnutí informací o provozním a technickém stavu za účelem zabezpečení plánování a řízení údržby. Důležitou součástí se stává i hodnocení stavu a průběhu vibrací za dobu provozu stroje či zařízení. Vibrace rotujících strojů jsou úzce vázány na dynamické namáhání související se stavy ložisek, převodovek, elektromotorů, strojních systémů, nevyváženosti, nesouososti, mechanického uvolnění, opotřebování součástí atd. Monitorování a vyhodnocení tak patří k základním a rozhodujícím metodám technické diagnostiky.

Diagnóza

Diagnóza je vyhodnocení provozuschopnosti stroje či zařízení za daných provozních podmínek.

Základní úkoly diagnózy:

- Detekce – odhalení přítomnosti vznikající poruchy
- Lokalizace – určení vadného místa vznikající poruchy
- Specifikace – stanovení příčiny vznikající poruchy vyhodnocením diagnostického signálu

- Predikce – určení zbytkové životnosti za účelem strategického plánování a řízení údržby

Časové členění:

- Cyklické
- Trvalé
- Na objednávku

Nasazení:

- Předdemontážní
- Po konečné instalaci
- Při kontrolní inspekci a revizní činnosti

Vlastní vývoj vibrodiagnostiky se vytvářel přes jednoduché snahy o zesílení vibračního a dále hlukového signálu až k použití nejmodernější měřicí techniky s maximální schopností zmapování sledovaného technického stavu stroje či zařízení. Důležitým milníkem bylo zavedení informační technologie, které umožnilo nejen samotné měření vibračního signálu, ale hlavně přednosti v okamžitém vyhodnocení daného měření.

1.1.1 Valivá ložiska

Jsou to nejpoužívanější strojní součásti a z hlediska plánování a řízení údržby patří ložiska k nejdůležitějším problémům zajištění provozní spolehlivosti.

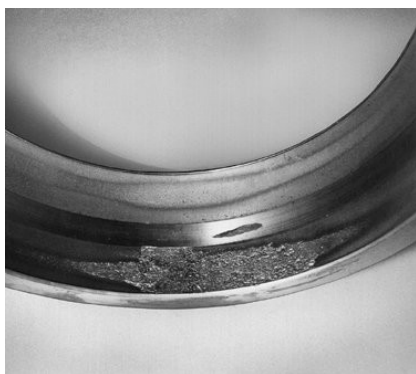
Valivá ložiska jsou nejvíce používaným prvkem pro přenos sil mezi jednotlivými díly rotujících strojů a zařízení. Jsou vyvíjeny stále kvalitnější konstrukce pro snížení únavy ložisek a zároveň ke zvýšení jejich životnosti. Cílem monitorování závad ložisek je zjištění přesného odhadu poruchy funkčnosti ložisek, tak aby bylo možno:

- Zabránit nákladným odstávkám při katastrofických poruchách
- Prodloužit životnost ložiska do doby únavové životnosti

- Minimalizovat sklad ložisek podle odhadnutého času pro výměnu

U ložisek dochází povrchovou únavou materiálu ložiskových komponentů k:

- Vydrolování materiálu povrchové vrstvy
- Otěru nárůstem vůle
- Korozi
- Rýhování
- Prohlubeninám
- Trhlinám
- Poruchám klece

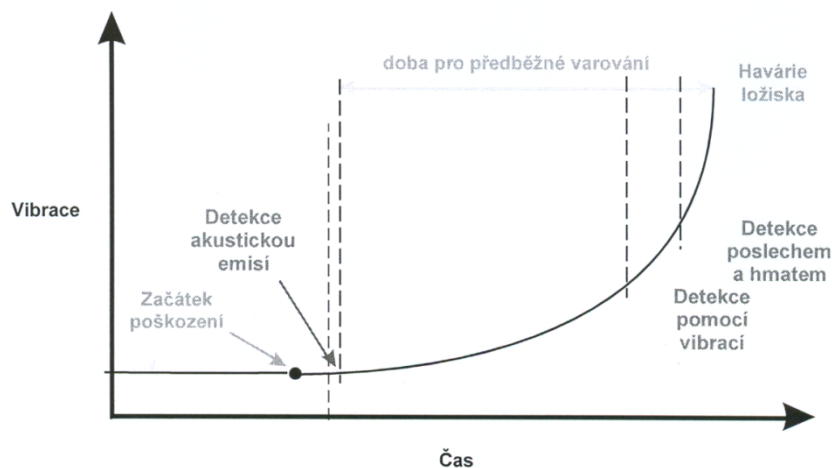


Obr.1 Vydrolování materiálu



Obr.2 Porucha klece

Jelikož interval mezi počátečním poškozením do havárie ložiska je poměrně dlouhý, máme možnost zjistit poškození ložiska včas, tak abychom byli schopni upřesnit příčinu vzniku vady. Po zjištění počátku vady je třeba zvýšit četnost sběru dat k určení zbylé životnosti ložiska a následně v dostatečné míře naplánovat potřebnou výměnu.



Obr.3 Průběh měření vibrací ložiska

U ložisek lze lokalizovat poškození jednotlivých komponentů na základě charakteristických poruchových ložiskových frekvencí, určených z rozměrů vnějšího a vnitřního průměru kroužku, roztečného průměru, průměru valivého elementu, úhlu dotyku valivého elementu a stěny kroužku.

Poruchové frekvence:

- Poškození vnějšího kroužku (BPFO) = $\frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} (1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$
- Poškození vnitřního kroužku (BPFI) = $\frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} (1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$
- Poškození valivých elementů (BSF) = $\frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \beta \right]$
- Poškození klece (FTF) = $\frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} (1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$

Kde: B_d – průměr valivého elementu
 P_d – střední průměr
 n – počet valivých elementů
 RPM – otáčky
 β – kontaktní úhel

V počáteční fázi opotřebení ložiska s povrchovými defekty při kontaktu kov na kov se šíří akustická emise ve frekvencích až do několika MHz.

V druhé fázi poškození ložiska dochází k poškozování jednotlivých komponentů, ale vibrační spektrální složky jsou zcela maskovány nízkofrekvenčními spektrálními složkami v pásmu v rozmezí 20 – 60 kHz.

V třetí fázi poškození komponentů ložiska již poškozený prvek vyvolává při pohybu stykem s dalším prvkem mechanické rázy, při nichž dochází k přenosu kinetické energie, kdy se těleso po rázu rozkmitá na vlastním kmitočtu v rozmezí 5 – 20 kHz.

V poslední fázi poškození komponentů ložiska již zaznamenáváme vibrace v oblasti nízkých kmitočtů, kdy dochází i k nárůstu otáčkových spektrálních složek.

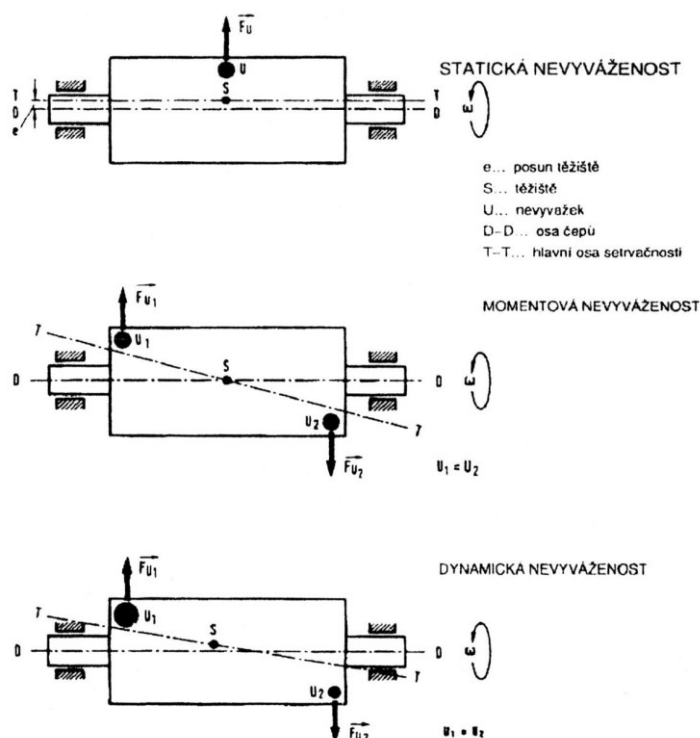
Diagnostika obálkovou metodou

Jednou z metod zjišťování detekce poškození ložiska je obálková metoda, jejímž účelem je zvýraznění malých signálů dvoustupňovým procesem. Nejprve oddělí ložiskové signály o vyšších frekvencích od nízkofrekvenčních vibrací pomocí pásmového filtrování. Proces filtrování zapříčiní sérii špiček, které odpovídají rázům jednotlivých ložiskových komponentů při průchodu přes poškození. Signál je v časovém oboru velmi úzký, komponenty se rozloží na velmi široký frekvenční rozsah, kdy jsou amplitudy harmonických složek frekvence závady ponořeny v šumu. Pokud je signál zpracován Fourierovou transformací, ukazuje ložiskové poruchové frekvence a jejich harmonické složky.

1.1.2 Provozní vyvažování rotujících objektů

Mnoho moderních analyzátorů vibrací je vybaveno zabudovaným programem pro provozní vyvažování, jako je sběr dat, provedení výpočtů a provedení požadované opravy nevyváženosti. Na základě těchto dat v místě uložení rotoru na ložiskách je většinou možno spolehlivě rozhodnout o jakou nevyváhu jde, za předpokladu symetricky rozložené hmotnosti a symetricky uloženého rotoru. V jiných případech je nutné dále upravovat:

- Pokud rotor vykazuje statickou nevývahu, pak vibrace budou vykazovat stejné amplitudy a fáze na obou ložiscích, ve frekvenčním spektru se projevuje nevývaha dominující první harmonickou složkou otáček
- Pokud rotor vykazuje momentovou nevývahu, jsou vibrace na obou ložiscích stejné úrovně s odečtem fáze posunutým o 180° , ve frekvenčním spektru se projevuje dominující první harmonickou složkou otáček stejně jako u statické nevývahy
- Pokud rotor vykazuje dynamickou nevývahu, mají vibrace rozdílné odečty amplitud a fázi na jednotlivých ložiscích, ve frekvenčním spektru se projevuje nevývaha dominující první harmonickou složkou otáček, ale vyskytuje se i druhá harmonická složka otáček
- Pokud rotor vykazuje kvazistatickou nevývahu, jsou vibrace rozdílné úrovně na jednotlivých ložiscích a fáze je posunutá o 180°



Obr.4 Druhy nevyváženosti

Základní zásady nevývahy:

- Dominantní vibrace jsou na otáčkové složce
- Vibrace v horizontálním směru jsou většinou větší než ve vertikálním směru
- Rozdíl fáze v horizontálním a vertikálním směru na jednom ložisku je kolem 90°
- Fáze v horizontálním směru obou ložisek je rovna kolem $\pm 30^\circ$ a totéž platí i pro fáze vertikálních vibrací obou ložisek
- Hodnota celkových vibrací je rovna kolem úrovní vibrací otáčkové složky
- Orbita vibrací by měla být mírně eliptická
- Rozdíl úrovně horizontálních a vertikálních vibrací nesmí být větší než 1 : 5
- Nízké amplitudy násobků otáčkové složky
- Nízké axiální vibrace, i když tyto nemusí být u letmo uložených rotorů, kde axiální vibrace mohou být větší

Vlastní postup vyvažování

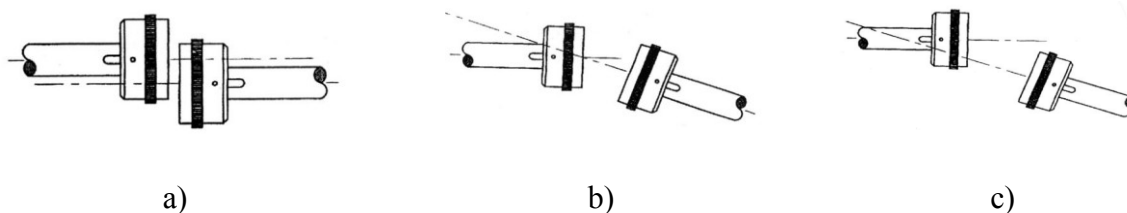
- Provedení referenčního měření – roztočení objektu na provozní otáčky, změření a uložení referenčních hodnot, určení hodnoty testovacího závaží výpočtem, upevnění testovacího závaží na určené místo, opětovné roztočení objektu na provozní otáčky a změření hodnoty odezvy
- Provedení opravného měření – výpočet opravného závaží, připevnění opravného závaží po odstranění testovacího na vypočtené místo, roztočení objektu na provozní otáčky a změření hodnoty odezvy
- Ukončení měření – pokud provedené vyvažování je v pořádku, pak ukončíme měření, pokud není v pořádku, pak opravný postup opakujeme

1.1.3 Nesouosost

Škody způsobené nesouosostí jsou druhou nejčastější příčinou poškození strojů hned po vyvážení rotorů. Těmto škodám lze předcházet správným vyrovnaním os, kdy lze hledat změny polohy hřídele v provozním stavu oproti montážnímu stavu v důsledku ložiskových vůlí, sil v ozubení a hydrodynamického mazání, šikmé poloze hřídelů, radiálním a axiálním házení přírub, chybách montáže, pružné deformaci základů nebo skříní strojů, teplotní roztažnosti hřídelů strojů atd. Při těchto chybách vyrovnaní dochází k násilnému spojení přírub spojek, kdy dochází k ohybovému namáhání rotoru při otáčení.

Druhy nesouososti:

- a) Rovnoběžná nesouosost
- b) Úhlová nesouosost
- c) Rovnoběžná a úhlová nesouosost



Obr.5 Druhy nesouososti

Rovnoběžná nesouosost má velké radiální vibrace u spojky v protifázi, 2x otáčková frekvence je často větší než 1x otáčková, ale její velikost vzhledem k první harmonické složce otáček je často určena typem a konstrukcí spojky. Při velkém přesazení se generují amplitudy s 4x až 8x vyšší harmonické složky otáčkové frekvence.

Úhlová nesouosost je typická velkými axiálními vibracemi. Přes spojku se mění fáze o 180° , v typickém případě jsou velké axiální vibrace s první a druhou harmonickou složkou otáček, i když není obvyklé, že dominuje 1x, 2x nebo 3x otáčková frekvence.

1.1.4 Letmo uložený rotor, ohnutý hřídel, mechanická vůle

Letmo uložený rotor

Způsobuje velké axiální vibrace v protifázi a vibrace v radiálním směru s nestálou fází, při měření je nutné soustředit pozornost na orientaci snímačů v axiálním směru.

Ohnutý hřídel

Způsobuje vibrace na základní a dvojnásobné frekvenci otáček, kdy amplitudy pro dvojnásobek mohou činit 30% až po 100 – 200% amplitudy základní otáčkové frekvence. Naměřené hodnoty v radiálním směru jsou zvláště ve fázi a v axiálním směru je obvykle posunutá o 180° , za tolerance měření fáze $\pm 30\%$.

Mechanické vůle

Projevuje se dlouhým sledem vysokých amplitud harmonických složek ($2x$, $3x$,...), otáčkové frekvence subharmonických složek ($1/2x$, $2/3x$...) a interharmonických složek ($1,5x$, $2,5x$...). Vibrace jsou ve větší míře v radiálním směru, ale jsou často silně směrově závislé v oblasti $\pm 30^\circ$.

1.1.5 Vibrace asynchronního elektromotoru

Asynchronní elektromotory jsou nejpoužívanějšími zdroji točivého momentu, kdy jsou hlavně využívány z důvodů vysoké provozní spolehlivosti, nízkých výrobních nákladů, rychlosti otáčení při proměnlivém zatížení, přesné regulaci otáček při použití frekvenčních měničů.

K základním jevům poruch a závad při diagnostice elektromotorů patří:

- Poruchy na mechanických částech elektromotoru
- Poruchy na elektrických obvodech elektromotoru

- Poruchy v magnetickém obvodu statoru a rotoru

Poruchy na mechanických částech elektromotoru

Především se jedná o poruchy a vady valivých ložisek, jednotlivých druhů nevyváženosti rotujících částí stroje, druhů nesouososti elektromotoru a poháněných součástí, poruch a závad spojených s hřídelí elektromotoru atd.

Poruchy na elektrických obvodech elektromotoru

- **Přerušené rotorové tyče** – v tyčích je indukováno napětí, které vyvolávají v kleci proudy, což vytváří vícefázový symetrický systém. Po poruše tyče dochází k nesymetrii systému, která se projeví deformací magnetického pole ve vzduchové mezeře a dále se projeví zhoršením provozních vlastností motoru
- **Statická a dynamická excentricita** – způsobuje nevyváženost se všemi jejími důsledky, kdy dochází ke změnám vzduchové mezery
- **Ložiskové proudy** – vznikají díky poruše izolačního systému, kdy mezi vodivým spojením ložiska a hřídele dochází k průchodu proudu, jenž způsobují vady povrchu valivých tělísek a čepu hřídele. Zabránění průchodu ložiskových proudů je pomocí dokonalého odizolování alespoň jednoho ložiska

Vibrace asynchronního elektromotoru jsou kombinací mechanických a elektrických poruch. Rychlým způsobem jak zjistit zdali jde o jednu nebo druhou poruchu, je odpojit elektromotor od elektrické sítě a následně musí elektrické poruchy jednoznačně zmizet. Poruchy elektromotoru se mohou projevovat zvýšenými vibracemi, zvýšeným hlukem, zvýšenou teplotou aktivních a pasivních částí elektromotoru.

1.1.6 Měření a vyhodnocení vibrací

Při měření vibrací by měl výstupní signál co nejpřesněji odpovídat samotnému průběhu mechanického kmitání a pro tento výstupní signál existují dva základní typy snímačů:

- Seismické snímače, které jsou instalovány na konstrukci stroje či zařízení a výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce
- Snímače relativní výchylky, které měří vibrační výchylku a střední polohu mezi rotujícími a nerotujícími komponenty

Snímače pro monitorování stavu vibrací jsou:

- Akcelerometry – nejrozšířenější seismické zařízení, výstup může být zpracován tak, abychom mohli měřit buď zrychlení, rychlost nebo výchylku vibrací, jsou instalovány na nerotující část stroje, jsou dostupné s různými rezonančními frekvencemi, možnost umístění na malou montážní plochu, měření i při vysokých teplotách nebo v silných magnetických polích, obsahuje jeden nebo více piezoelektrických krystalových elementů, které vytváří elektrický náboj a rozeznáváme buď tlakový či smykový akcelerometr



Obr. 6 Akcelerometr

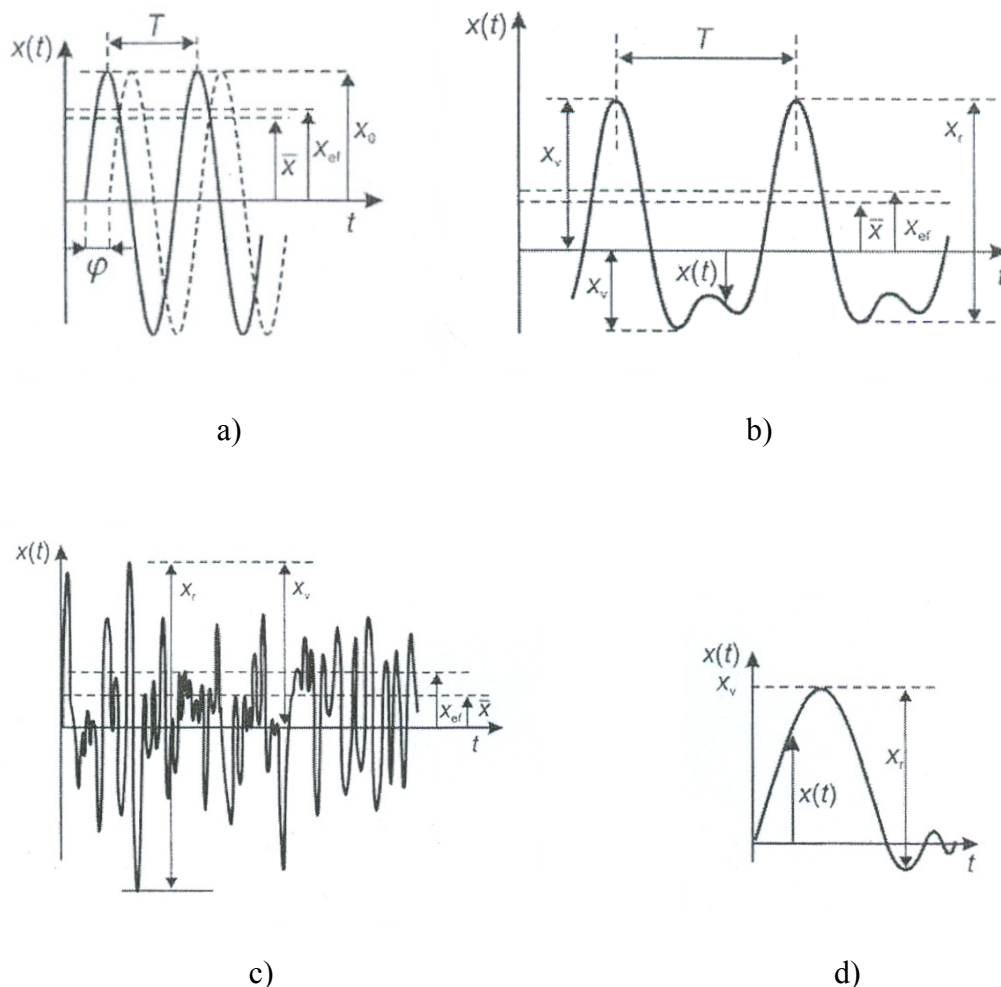
- Snímače rychlosti vibrací – výstup lze integrovat na výchylku vibrací, seismické zařízení, jsou instalovány na nerotující část stroje, uvnitř snímače je cívka, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu
- Bezdotykové sondy – výstup je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími komponenty stroje, může přímo ověřit vibrační výchylku rotující části vůči nerotující, dává střídavou složku pro vibrační pohyb a stejnosměrnou pro polohu, většina sond pracuje na principu vířivých proudů

Přípevnění snímačů:

- Pevný šroubový spoj – žádné snížení rezonanční frekvence v důsledku přípevnění
- Izolovaný šroubový spoj - rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz
- Přilepení tuhým lepidlem - rezonanční frekvence je snížena asi na 28 kHz
- Přilepení měkkým epoxidem - rezonanční frekvence je snížena asi na 8 kHz
- Přípevnění permanentním magnetem - rezonanční frekvence je snížena asi na 7 kHz
- Ruční sonda se snímačem - rezonance je snížena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz

Rozdělení signálů:

- a) Harmonický signál – signál, jehož časový průběh obsahuje jedinou frekvenci
- b) Periodický signál – je složen z harmonických signálů, které jsou násobkem jedné základní frekvence (vyšší harmonické a subharmonické)
- c) Stochastický signál – náhodný signál, jehož průběh nelze předvídat
- d) Přeřadový signál - signál, jehož průběh je časově omezen



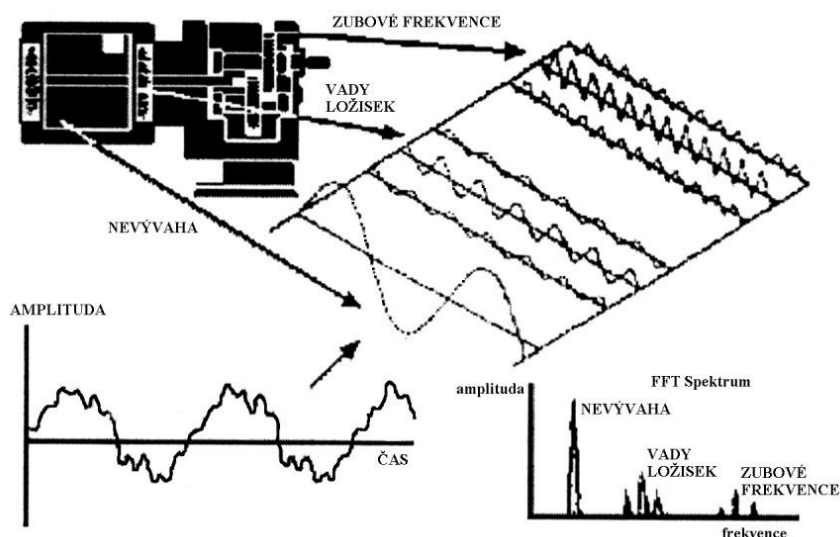
Obr. 7 Časové průběhy signálů

Frekvenční analýza FFT

Frekvenční analýza vibračních signálů pomocí Fast Fourierovy transformace je základní a nejpoužívanější metoda, která využívá periodických dějů, které pak v souřadném systému zobrazí. Využijeme-li souřadný systém amplituda a frekvence, hovoříme o frekvenčním spektru a pokud použijeme souřadný systém amplituda a čas, pak hovoříme o časovém průběhu. Naměřené hodnoty jsou zpracovány, analyzovány a zobrazeny ve formě tabulek a grafů pomocí zařízení pro monitorování vibrací. Frekvenční rozklad je množství sinusových signálů s danou amplitudou a počáteční fází a případné zhoršení jednotlivých zdrojů budících frekvencí ve spektru vibrací jsou významným nástrojem pro diagnostiku. Výhody Fast Fourierové transformace jsou:

- Rychlost

- Přesnost
- Srozumitelné nastavení parametrů
- Realizovatelnost ve formě univerzálního elektronického obvodu



Obr. 8 Princip frekvenční analýzy FFT

Měření vibrací je vlastně vyjádření amplitudy sinusového signálu, kde se využívá daných vyjádření:

- Špička (peak) – vzdálenost mezi vrcholem a nulovou úrovní
- Špička – špička (peak – to – peak) – vzdálenost mezi nejnižším a nejvyšším vrcholem vlny
- Průměrná hodnota (Average) – vzhledem k neideálnímu sinusovému průběhu je průměrná hodnota nenulová
- Efektivní hodnota (RMS) – porovnání energie stejnosměrného a střídavého proudu

Postup pro určení objektivního technického stavu diagnostického objektu je:

- Výpočet frekvencí zdrojů buzení
- Zpracování metodiky měření
- Provedení provozních měření
- Objasnění a analýza naměřených hodnot

2 Odprašovací zařízení kotelny

Technická zařízení kotelny zajišťují svým provozem výrobu tepelné a současně elektrické energie. Výrobu páry zajišťuje provozní soubor dvou kotlů na tuhá paliva se spalovacím zařízením, zahlováním, úpravnou vody, odlučovacím zařízením, vzduchovými a kouřovými ventilátory, odprašovacím zařízením a odškvárováním. Jak již bylo uvedeno v úvodu, pro zabezpečení emisních limitů a dalších podmínek provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší dle vyhlášky č. 117/1997 Sb. Ministerstva životního prostředí je nutná instalace odprašovacího zařízení kotelny.

2.1 Součásti odprašovacího zařízení

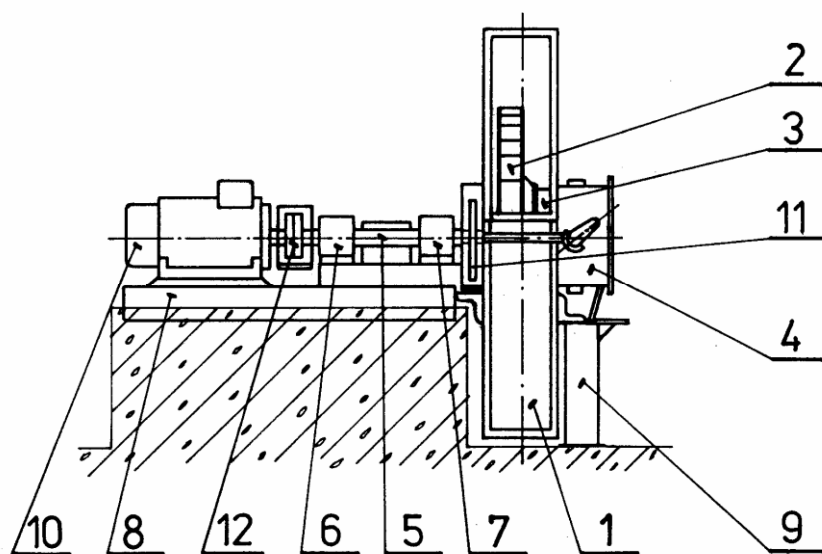
Odprašovací zařízení zajišťuje provozní soubor sacího a výtlačného potrubí, hadicových filtrů ALFA JET PLUS, radiálních kouřových ventilátorů RVK 1600 s pohonem třífázového elektromotoru s označením SIEMENS 1LA6 316-4AA60-Z.

2.1.1 Radiální ventilátor RVK 1600

Ventilátory RVK jsou radiální vysokotlaké ventilátory jednostranně sací, které jsou poháněny elektromotory přes pružnou spojku. Oběžné kolo ventilátoru je upevněno letmo na kuželovém konci hřídele. Pro zajištění širokého rozsahu výkonu je možné u každé velikosti použít 8 různých oběžných kol.

Ventilátory RVK se vyrábí v normálním nebo pancéřovaném provedení. Ventilátory normálního provedení se používají pro dopravu čisté nebo jemným prachem znečištěné vzdušiny, ventilátory pancéřovaného provedení pro dopravu vzdušin s abrazivními příměsemi. Pancéřované provedení má zesílené oběžné kolo a vyměnitelnou vložku obvodového plechu spirální skříně. Pro dosažení požadovaného průtoku ventilátor obsahuje vstupní regulační ústrojí, ovládané servomotorem a další regulace je řízena automaticky pomocí frekvenčního měniče.

Ventilátory se dodávají s pravotočivými nebo levotočivými polohami spirálních skříní a smysl otáčení oběžného kola se určují při pohledu ze strany sání. Pokud jsou ventilátory umístěny ve venkovních prostorách jsou elektromotory chráněny kryty před působením klimatických podmínek.



Obr.9 Popis ventilátoru RVK 1600

Hlavní části ventilátoru RVK:

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Spirální skříň | 7. Volné ložisko |
| 2. Oběžné kolo | 8. Rám |
| 3. Sací hrdlo | 9. Podpěra |
| 4. Regulační ústrojí | 10. Elektromotor |
| 5. Hřídel | 11. Chladicí kotouč |
| 6. Pevné ložisko | 12. Spojka |

Parametry ventilátoru:

- TYP: RVK 1600 – 3N – L90 a RVK 1600 – 3N – P90
- Průtok $Q = 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Dopravní tlak $\Delta p_{cv} = 5000 \text{ Pa}$
- Otáčky $n = 1460 \text{ min}^{-1}$
- Výkon $P = 140 \text{ kW}$
- Teplota vzdušiny $t = 220 \text{ }^\circ\text{C}$

Rám ventilátoru s uložením a kotevními šrouby je umístěn na vyvýšený betonový základ a rám je vypodložením vyrovnán do vodorovné polohy. Stojan je čtyřmi kotevními šrouby uložen na betonový základ v úrovni podlahy. V rámu a stojanu jsou ustavovací otvory pro ustavení spodního dílu spirální skříně s patkami. Upravení polohy spodního dílu spirální skříně do vodorovné polohy a upravením spodního okraje ucpávky hřídele je zajištěno vypodložením polohy stojanu ventilátoru. Rám i stojan jsou po vypodložení zalaty betonovou směsí nad úroveň základové roviny. Spirální skříň je svařovaná a v obvodovém plechu na straně výtlaku je umístěn průlez. V nejnižším místě spirální skříně je odvodnění.

Oběžné kolo ventilátoru je uloženo ve spirální skříně na hřídeli a zajištěno na jeho konci pojistnou deskou se šrouby. Jelikož ventilátory dopravují vzdušinu s teplotami $+220^\circ\text{C}$, je hřídel chlazena chladícím kotoučem. Chladicí kotouč je umístěný mezi spirální skříň a volné ložisko. Hřídel ventilátoru je uložena ve valivých ložiscích v dělených, samostatných ložiskových tělesech. Ložisková tělesa jsou opatřena kontaktními teploměry a oběhovým mazáním ložisek. V ložiskovém tělese u oběžného kola je instalováno ložisko 22324 C3 a v ložiskovém tělese u spojky je instalováno ložisko 22228 C3.

Parametry ložiska 22324 C3:

- Vnější průměr - 260 mm
- Vnitřní průměr – 120 mm
- Šířka – 86 mm

- Příslušné upínací pouzdro – H2324
- Příslušné stahovací pouzdro – AH2324X
- Příslušná stahovací matice – KM27

Parametry ložiska 22228 C3:

- Vnější průměr - 250 mm
- Vnitřní průměr – 140 mm
- Šířka – 68 mm
- Příslušné upínací pouzdro – H3128
- Příslušné stahovací pouzdro – AH3128X
- Příslušná stahovací matice – KM30

Spojení hřídele ventilátoru s hřídelí elektromotoru je zajištěno pružnou spojkou s vinutou pružinou VPS, která může pracovat v prašném i vlhkém prostředí a dokáže tlumit rázy při náhlé změně přenášeného kroutícího momentu.

2.1.2 Asynchronní elektromotor SIEMENS 1LA6-4AA60-Z

Elektromotor je usazen na společném kovovém rámu s ložiskovými tělesy, je upevněn na vyvýšeném betonovém základě. Souosost hřídele ventilátoru s hřídelí elektromotoru je zajištěna natočením a vypodložením po celé ploše patek elektromotoru. Instalované přední i zadní ložisko elektromotoru jsou ložiska 6319 C3.

Parametry elektromotoru:

- TYP: SIEMENS 1LA6-4AA60-Z
- Výkon $P = 160$ kW
- Frekvence = 50 Hz

- Otáčky $n = 1485 \text{ min}^{-1}$
- Napětí = 400/690 V

Parametry ložisek 6319 C3:

- Vnější průměr - 200 mm
- Vnitřní průměr – 95 mm
- Šířka – 45 mm

2.1.3 Činnost odprašovacího zařízení

Činnost odprašovacího zařízení spočívá v dopravě spalín ze spalovacích prostor kotlů, které jsou nasávány podtlakem lopatkami oběžného kola radiálního ventilátoru do kouřovodu. Kouřovodem procházejí spaliny přes ručně ovládaná hradítka, která umožňují uzavření filtrační jednotky, když nebude v provozu. Dále spaliny pokračují do filtrační jednotky ALFA JET PLUS přes žaluziové předodlučovače, umístěné ve vstupním díle filtru.



Obr.10 Sestava odprašovacího zařízení

Spaliny prostupují z vnější strany filtrových hadic dovnitř a vyčištěné spaliny vystupují do výstupního dílu filtru. Z výstupního dílu jsou vyčištěné spaliny dopravovány do spirální skříně, kde oběžným kolem ventilátoru dochází v axiálním směru k nasávání vyčištěných spalin a v radiálním směru k jejich vytlačování. Výtlačné potrubí je napojeno do vstupní příruby přilehlého komína a odtud je vyčištěná spalina rozptýlena do okolního prostředí.

Z důvodu zanášení vnějšího povrchu filtračních hadic ulpívajícím popílkem ze spalin a tím dochází k následnému zvyšování odporu v sacím potrubí ventilátoru, je k regeneraci filtračních hadic použit stlačený vzduch o tlaku 0,6 MPa, zbavený vody, oleje a nečistot, který pracuje v automatickém provozu. Čištění je zabezpečeno v pravidelných intervalech v podobě krátkodobých tlakových impulsů stlačeného vzduchu při zpětném profouknutí působícím proti tahu ventilátoru. Zachycený popílek padá do výsypky filtru, odkud je kontinuálně odváděn pomocí rotačního podavače do šnekového dopravníku. Šnekový dopravník je veden do podkotlí, kde je výpad zaústěn do vlhčícího šnekového dopravníku a dále je dopravován k pásovému dopravníku, který odvádí popílek na skládku.

3 Odlučování dřevního prachu

Dle zákona č. 262/2006 Sb., § 102 – Zákoníku práce je zaměstnavatel povinen vytvářet podmínky pro bezpečné, nezávadné a zdraví neohrožující pracovní prostředí vhodnou organizací bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a přijímáním opatření k prevenci rizik.

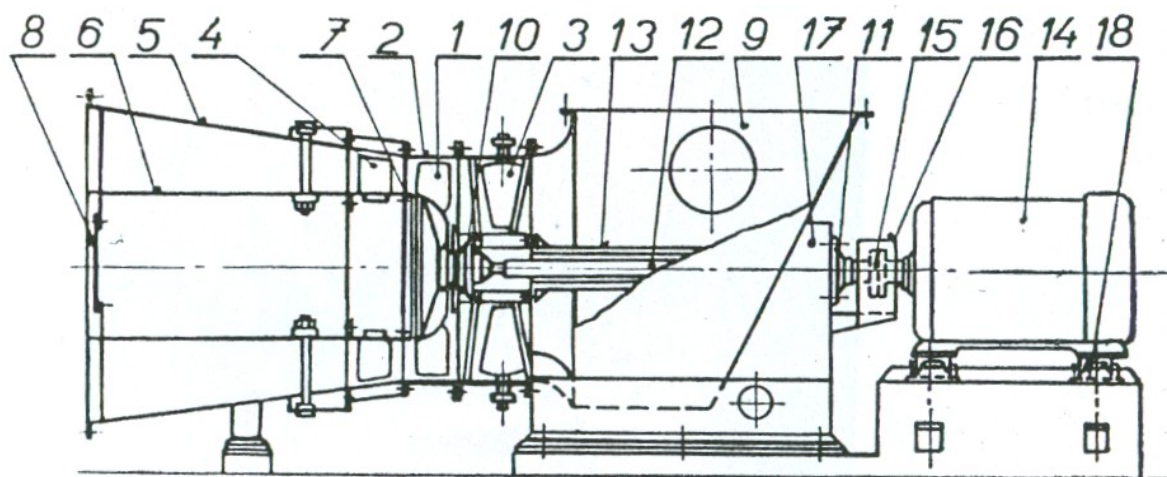
Technologie spočívá v potrubní dopravě dřevního odpadu z pracovišť, kde se dřevo opracovává a prach vzniká, přes průchozí dopravní ventilátory do odlučovací stanice, sestávající ze dvou stupňů cyklónových odlučovačů v šestnácti větvích. Sací rychlost v jednotlivých odsávacích větvích je nastavena na cca 16-18 m/s, která se zvyšuje směrem k odlučovací stanici na 22-23 m/s. Celkové odsávané množství vzduchu odlučovací stanice je 276 000 m³/hod. Dopravníky a odlučovací zařízení jsou dimenzovány na prvním stupni odlučování pro 2 t / hod. dřevního prachu a na druhém stupni odlučování pro 100 kg / hod. dřevního prachu.

3.1 Součásti odlučovací stanice

Odlučovací stanici zajišťuje provozní soubor přívodních odsávacích větví, odlučovačů na prvním a druhém stupni odlučování, dopravních radiálních ventilátorů DVD 1000 na prvním stupni odlučování, axiálních ventilátorů C42 – 1400 na druhém stupni odlučování, lapačů velkých a těžkých předmětů, rotačních podavačů na prvním a druhém stupni odlučování, pásových dopravníků na prvním a druhém stupni odlučování, filtrů na druhém stupni odlučování, tlumiče hluku a komína pro rozptyl vzduchu do okolního prostředí.

3.1.1 Axiální ventilátor C42 - 1400

Ventilátory C42-1400 jsou axiální rovnotlaké ventilátory, které jsou poháněny elektromotory přes axiální čepové spojky BKN. Oběžné kolo ventilátoru je upevněno na přírubě pouzdra vnitřního ložiska.



Obr.11 Popis ventilátoru C42-1400

Hlavní části ventilátoru:

1. Oběžné kolo	7. Nástavec	13. Chladicí trubka
2. Skříň	8. Průlez	14. Elektromotor
3. Regulační ústrojí	9. Sací komora	15. Spojka
4. Výstupní lopatka	10. Vnitřní ložisko	16. Kryt spojky
5. Plášť difuzoru	11. Vnější ložisko	17. Stolička
6. Jádru difuzoru	12. Hřídel	18. Nosník

Parametry ventilátoru:

- TYP: C42 – 1400 - 0
- Průtok $Q = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Dopravní tlak $\Delta p_{cv} = 2400 \text{ Pa}$
- Otáčky $n = 985 \text{ min}^{-1}$
- Výkon $P = 136 \text{ kW}$

Rám ventilátoru s uložením a kotevními šrouby je umístěn na vyvýšený betonový základ a rám je vypodložením vyrovnán do vodorovné polohy, kde je čtrnácti kotevními šrouby uložen na betonový základ. Na rám je v jedné rovině vypodložením vyrovnána do vodorovné polohy patka difuzoru se stoličkou sací komory. Po přesném vyrovnání jsou otvory pro základové šrouby a mezery mezi rámem stoličky, patkou difuzoru a betonovým základem zality betonovou směsí.

Difuzor je upevněn pomocí šroubu na patku a ve víku jádra difuzoru je průlez pro případnou demontáž oběžného kola a výstupních lopatek. Výstupní lopatky jsou umístěny mezi pláštěm a jádrem difuzoru. U výstupních lopatek se musí dbát na správnou polohu, kdy náběžná hrana musí směřovat do osy difuzoru, v nesprávné poloze by docházelo ke snížení účinnosti a výkonu ventilátoru.

Na difuzor je šrouby připevněna dělená skříň oběžného kola, na kterou je dále připevněna skříň regulačního ústrojí. Plynulá změna výkonu ventilátoru je provedena natáčením lopatek regulačního ústrojí. Změnou úhlu nastavení lopatek se mění vstupní úhel protékajícího vzduchu do oběžného kola a tím se mění i výkon ventilátoru. Regulační ústrojí je opatřeno ukazateli natočení lopatek, kdy při nastavení lopatek do plusu se výkon ventilátoru zvětšuje, do mínusu zmenšuje. Maximální natočení lopatek do plusu lze do polohy 35° , překročením uvedené polohy by mohlo dojít k havárii regulačního ústrojí. Ovládání regulačního ústrojí je pomocí lankového převodu elektrickým servomotorem. Ke skříni regulačního ústrojí je připevněna dělená sací komora, která je přivařená na stoličku. Sací komora je opatřena průlezem, který umožňuje přístup dovnitř při kontrole nebo při demontáži ventilátoru.

Oběžné kolo ventilátoru je upevněno na přírubě pouzdra vnitřního ložiska. Vnitřní ložisko je umístěno v jádře regulačního ústrojí, zachycuje radiální sílu, je chlazeno vzduchem a jeho teplota je snímána pomocí vestavěného odporového teploměru. Domazávání vnitřního ložiska je prováděno v týdenních intervalech. Vnější ložisko je upevněno přírubou na stoličce sací komory, zachycuje převážně axiální sílu. Vnější ložisko je mazáno olejem, pro doplňování oleje je ve víku opatřeno otvorem se zátkou a olejoznakem. Hřídel ventilátoru je uložena ve valivých ložiscích, instalované vnitřní ložisko je 22220 C3 a instalované vnějším ložisko je 22318 KM.

Parametry ložiska 22220 C3:

- Vnější průměr - 180 mm
- Vnitřní průměr – 100 mm
- Šířka – 46 mm
- Příslušné upínací pouzdro – H320

Parametry ložiska 22318 KM:

- Vnější průměr - 190 mm
- Vnitřní průměr – 90 mm
- Šířka – 64 mm
- Příslušné upínací pouzdro – H2318

Pro chlazení hřídele a vnitřního ložiska je součástí ventilátoru chladicí trubka. Intenzita proudění chladicího vzduchu je závislá na výkonu ventilátoru. Spojení hřídele ventilátoru s hřídelí elektromotoru je zajištěno čepovou spojkou BKN s polyamidovými vložkami. Spojky BKN umožňují použití v prostředí znečištěném hmotnými částicemi, ale i v prostředí s nebezpečím výbuchu. Dynamicky zabezpečují chod soustrojí tlumením rázů při přenosu stálého, přerušovaného i míjivého točivého momentu.

3.1.2 Asynchronní elektromotor AF-1166-6

Elektromotor je usazen na vyvýšené kovové konstrukci, která je přivařená ke společnému kovovému rámu pro ventilátor a elektromotor. Společný kovový rám ventilátoru s uložením a kotevnými šrouby je umístěn na vyvýšený betonový základ. Souosost hřídele ventilátoru s hřídelí elektromotoru je zajištěna natočením a vypodložením po celé ploše patek elektromotoru. Instalované přední ložisko elektromotoru je NU 320 a zadní ložisko elektromotoru je 6316.

Parametry ventilátoru:

- TYP: AF-1166-6
- Výkon $P = 160 \text{ kW}$
- Frekvence = 50 Hz
- Otáčky $n = 985 \text{ min}^{-1}$
- Napětí = 380/660 V

Parametry ložisek NU 320:

- Vnější průměr - 215 mm
- Vnitřní průměr – 100 mm
- Šířka – 47 mm

Parametry ložisek 6316:

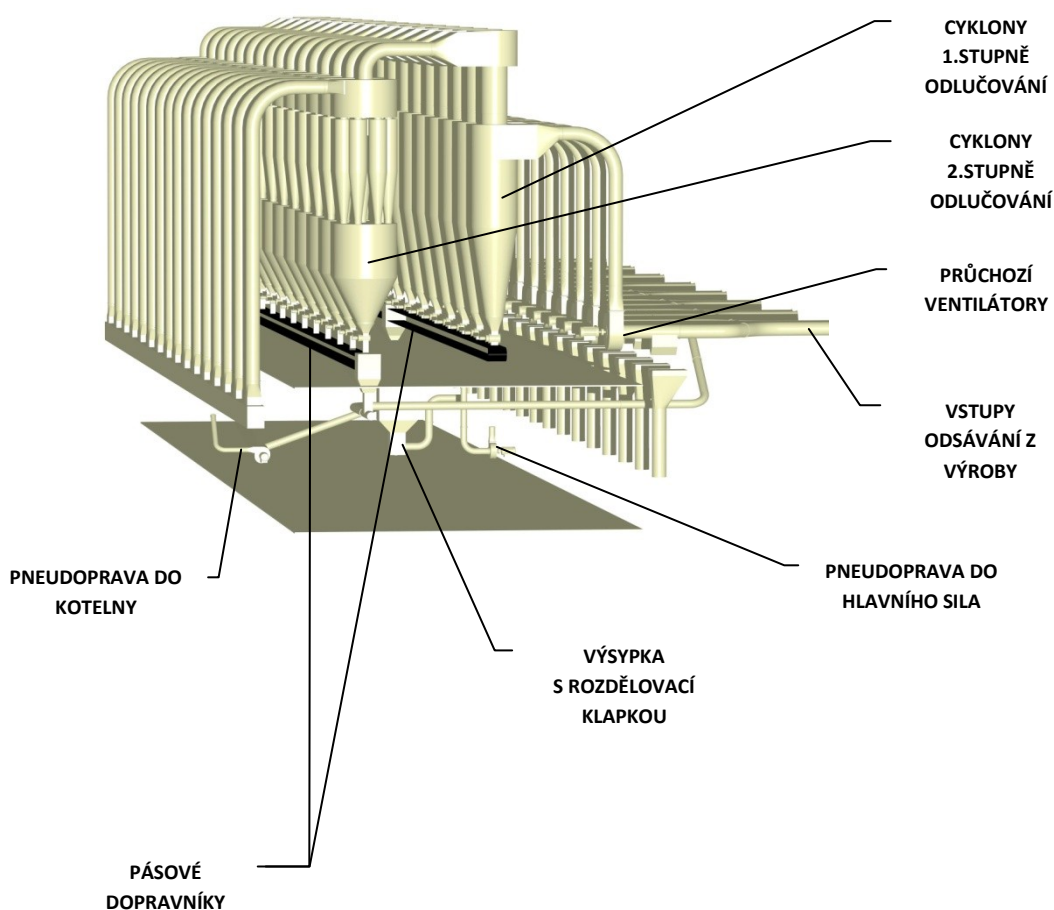
- Vnější průměr - 170 mm
- Vnitřní průměr – 80 mm
- Šířka – 37 mm

3.1.3 Činnost odlučovací stanice

Zařízení odlučovací stanice slouží k odsávání dřevního odpadu (piliny, hobliny, dřevní prach) od dřevoobráběcích strojů ve výrobních halách, kde pro tento účel je instalováno 16 ks odsávacích větví.

Jednotlivé dopravní ventilátory na odlučovací stanici odsávají dřevní odpad z výrobních hal, který prochází před odlučovací stanicí lapači velkých a těžkých kusů. Zde se velké a těžké kusy zachytí a zůstanou ve výsypce, která je součástí lapače. Po vypnutí odsávání se víko lapače otevře a nahromaděný materiál spadne svislým potrubím do připravených kovových beden pod lapači. Dřevní odpad nasávaný dopravním ventilátorem,

je vytlačován přes šoupátko nad výtlakem ventilátoru, který slouží k regulaci výkonu ventilátoru, do odlučovače na prvním stupni odlučování, který je umístěn nad ventilátory na střeše odlučovací stanice. Zde se vlivem ztráty tlaku vzduchu a gravitace odloučí piliny a hobliny, které padají do velkých turniketů, odkud jsou dákovány na dva pásové dopravníky. Pásky obou dopravníků se pohybují směrem k sobě a na jejich konci dřevní odpad padá do krátkého svislého potrubí. U konce tohoto potrubí jsou napojena sací potrubí směřující na hlavní betonové silo a sací potrubí směřující na silo kotelny. Na konci krátkého svislého potrubí je instalována klapka. Klapka se při nedostatečném sání dopravních ventilátoru na hlavním silu anebo na silu kotelny zaplní dřevním odpadem a vlivem váhy tohoto odpadu se otevře směrem dolů, čímž dojde k sepnutí mikrospínače. Mikrospínač okamžitě aktivuje zvukovou a optickou signalizaci hlášení poruchy. Optická signalizace je viditelná v blízkosti této klapky a také na velínu na elektropanelu.



Obr.12 Schéma technologie odlučovací stanice

Přebytečný tlak vzduchu z dopravních ventilátorů na odlučovací stanici je odsáván dvěma axiálními ventilátory C42-1400-0. Tento odtah axiálních ventilátorů způsobuje nulový tlak mezi prvním a druhým stupněm odlučování, tím dochází k odloučení pilin a hoblin na prvním stupni odlučování a dřevního prachu na druhém stupni odlučování. Dřevní prach se odloučí v odlučovačích na druhém stupni a padá do násypek nad malými turnikety. Ty ho dávkuje na dlouhý dopravník, na jehož konci je sací potrubí, připojeného do lapače č. 14 před odlučovací stanicí.

V důsledku podtlaku v tomto lapači je prach nasáván do dopravního ventilátoru č. 14 a odtud opět putuje do odlučovače na prvním stupni, kde se z velké části odloučí a je dávkován přes velký turniket na pásový dopravník prvního stupně atd.

Přebytečný vzduch z odlučovačů na druhém stupni je odsáván axiálními ventilátory, který prochází svislým potrubím přes uzavírací klapky do společného hranatého vodorovného potrubí za odlučovací stanicí. Potrubí ústí do sacích komor obou axiálních ventilátorů. V axiálním ventilátoru prochází přes regulační klapky do oběžného kola ventilátoru a dále přes výstupní lopatky do difuzoru ventilátoru. Z difuzoru je vzduch vytlačován přes tlumiče zvuku, které jsou umístěné před vstupem do komína odlučovací stanice. Z komína je vzduch volně rozptýlen do okolního prostředí.

4 Příprava vibrodiagnostiky ventilátorů

Příprava vibrodiagnostiky jednostranně sacího radiálního ventilátoru a axiálního rovnotlakého ventilátoru vychází ze zjištění provozní spolehlivosti zařízení, ze stanovení měřících míst, z výpočtu budících frekvencí, ze stanovení druhu snímače, ze stanovení způsobu uchycení snímače, ze stanovení měřícího přístroje a z vyhodnocení vibrací.

4.1 Provozní spolehlivost zařízení

4.1.1 Provozní spolehlivost radiálních ventilátorů

Provoz odprašovacího zařízení pracuje v zimních měsících v nepřetržitém provozu, v letních měsících v pracovní dny v třísměnném provozu. Při výrobě páry je ve většině případů v provozu pouze jeden z dvojice kotlů a tím i vždy jeden z dvojice ventilátorů, kdy je po určitých úpravách možná i kombinace odsávání spalin ventilátorů od různých kotlů. Tím je možná výměna ložisek jak u ventilátoru, tak u motoru bez případného odstavení celého provozu. Dle dosavadních zkušeností provozovatele jsou nejčastějšími poruchami ventilátorů nevyváženost v podobě zanesení nebo opotřebení lopatek oběžného kola, opotřebení spojky, uvolnění některé součásti ze zařízení, poruchami vadou ložisek jak u ventilátoru, tak u elektromotoru.

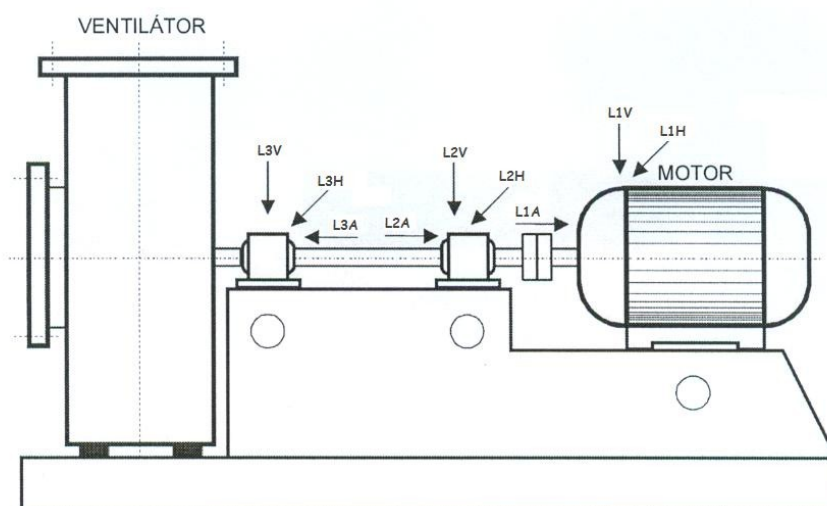
4.1.2 Provozní spolehlivost axiálních ventilátorů

Provoz odlučovacího zařízení pracuje v pracovní dny ve dvousměnném provozu. Pro odlučování dřevního odpadu z výrobních hal je instalováno 16 ks odsávacích větví do prvního stupně odlučování. Na druhém stupni odlučování jsou pro odsávání přebytečného vzduchu instalovány 2 ks axiálních rovnotlakých ventilátorů, kdy každý ventilátor je pro 8 odsávacích větví. Při odpolední směně nebo snížené výrobě je možno libovolně kombinovat 1 až 8 odsávacích větví při provozu pouze jednoho axiálního ventilátoru. Případné opravy lze uskutečnit v mimoprovozní době nebo při částečném omezení odsávacích větví na prvním stupni odlučování. Dle dosavadních zkušeností provozovatele jsou nejčastějšími poruchami ventilátorů rovněž nevyváženost v podobě zanesení nebo

opotřebení lopatek oběžného kola, opotřebení spojky, uvolnění některé součásti ze zařízení, poruchami vadou ložisek jak u ventilátoru, tak u elektromotoru. Dalšími poruchami jsou opotřebení výstupních lopatek, lopatek regulačního ústrojí, ovládání regulačního ústrojí, atd.

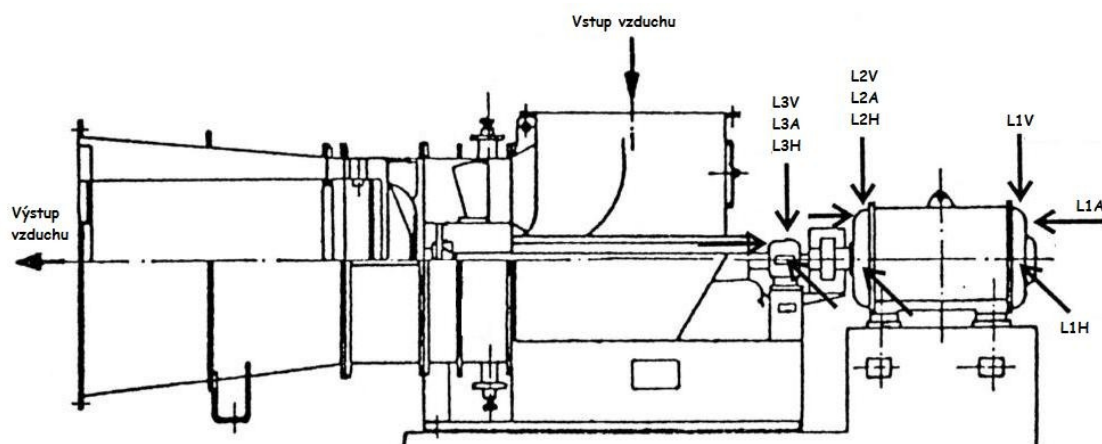
4.2 Stanovení měřicích míst

Při stanovení měřicích míst u radiálního ventilátoru bude z důvodu nedostupnosti k zadnímu ložisku elektromotoru, započato měření od předního ložiska elektromotoru, dále na ložiskovém tělese u spojky a následně na ložiskovém tělese u oběžného kola. U každého měřicího místa bude postupováno od vertikálního směru přes horizontální k axiálnímu směru.



Obr.13 Schéma měřicím míst radiálního ventilátoru

Při stanovení měřicích míst u axiálního rovnotlakého ventilátoru bude z důvodu nedostupnosti k vnitřnímu ložisku ventilátoru odstoupeno od záměru měření tohoto ložiska. Postup měření bude započat od zadního ložiska elektromotoru, dále na přední ložisko elektromotoru a následně bude snímáno vnější ložisko ventilátoru. U každého měřicího místa bude postupováno od vertikálního směru přes horizontální k axiálnímu směru měření.



Obr.14 Schéma měřicím míst axiálního ventilátoru

4.3 Výpočet budících frekvencí

Pro správné vyhodnocení naměřených hodnot potřebujeme znát budící frekvence jednotlivých součástí zařízení. Vzorce pro výpočet poruchových frekvencí valivého ložiska byly již popsány (kapitola 1.1.1). Vzorce základní otáčkové frekvence a lopatkové frekvence jsou:

Základní otáčková frekvence:

$$\triangleright f_o = \frac{RPM}{60}$$

Lopatková frekvence:

$$\triangleright f_L = f_o \cdot n_L$$

Kde: RPM – otáčky
 n_L – počet lopatek

4.4 Stanovení druhu a uchycení snímače

Pro měření vibrací bude použit akcelerometr, který je nejrozšířenějším snímačem, jelikož jeho výstup může být zpracován na libovolnou veličinu v podobě výchylky, rychlosti nebo zrychlení vibrací. Uchycení akcelerometru na měřicí místa bude pomocí permanentního magnetu, kdy vliv připevnění ovlivňuje frekvenční odezvu snímače, které jsou již popsány (kapitola 1.1.6).

Parametry snímače AC102-1A:

- Citlivost ($\pm 10\%$) – 100 mV/g
- Frekvenční rozsah ($\pm 3\text{dB}$) – 0,5–15 000 Hz
- Rezonanční frekvence – 23
- Zdroj napětí – 18–30 V
- Vnitřní odpor – 100 Ω
- Pracovní rozsah teplot - -50- 121 °C
- Hmotnost – 90 g



Obr.15 Akcelerometr AC102-1A

4.5 Stanovení měřicího přístroje

Pro měření vibrací bude použit přístroj A4400 – VA4Pro od firmy ADASH spol. s r.o., který má funkce sběrač dat, analyzátor, vyvažovačka, měření doběhů a záznam vibrací.

Parametry přístroje A4400-VA4Pro:

Tabulka 1: Parametry přístroje A4400-VA4Pro

Režimy měření	Datakolektor, Analyzátor, Balancer, RunUp, Rekordér
Vstupní kanály	4 pro AC s možností ICP napájení, 4 pro DC, 1 pro externí spouštění
Procesor	1,6 GHz
Paměť	max 120 GB
Vstupní rozsahy	AC +/-12 V špička (peak), DC +/-24 V
Dynamický rozsah	120 dB
Vzorkovací frekvence	min 64Hz, max 64 kHz pro synchronní měření na 4 kanálech, max 196 kHz pro 1 kanálové měření
Synchronizace	plně synchronní měření všech 4 AC kanálů
Rozsah FFT	min 100 čar, max 25 600 čar
Zpracování dat	FFT analýza v reálném čase, ENVELOPE - obálková analýza, ACMT - analýza stavu pomaloběžných ložisek, řádová analýza, měření v uživatelských pásmech, měření otáček, měření procesních DC veličin
Zobrazení dat	celkové hodnoty, časové průběhy, spektra, fáze, řádová analýza, pásmo, 3D grafy (kaskáda)
Typ oken	Hanning, rectangular, transient, exponential
Teplotní rozsah	-10°C až +50°C
Krytí	IP65



Obr.16 Přístroj A4400-VA4Pro

4.6 Vyhodnocení vibrací

Vyhodnocení měřených vibrací bude vycházet z normy ČSN ISO 10816-3, která uvádí měřicí postupy, provozní podmínky, klasifikaci strojů a hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech. Hodnocení je dle normy rozděleno do dvou kritérií.

4.6.1 První kritérium – velikost vibrací

První kritérium sleduje velikost širokopásmových vibrací, určuje meze velikosti vibrací, které jsou ve shodě s přípustným dynamickým zatížením na ložiscích a přípustným přenosem vibrací do okolního prostředí částí zařízení. Je posuzována maximální velikost vibrací a hodnotí se dle pásma hodnocení pro třídu uložení.

Pásma hodnocení dle [7]:

- Pásmo A – v tomto pásmu jsou zpravidla vibrace nových přejímaných strojů
- Pásmo B – stroje, jejichž vibrace jsou v tomto pásmu, jsou zpravidla provozuschopné po neomezeně dlouhou dobu

- Pásmo C – stroje, jejichž vibrace jsou v tomto pásmu, jsou zpravidla posuzovány za neuspokojivé pro dlouhodobý nepřetržitý provoz. Všeobecně mohou být stroje za těchto podmínek provozovány omezeně do té doby, než nastane vhodná příležitost k opravě
- Pásmo D – hodnoty vibrací v tomto pásmu jsou zpravidla považovány za natolik nebezpečné, že mohou způsobit poškození stroje

4.6.2 Druhé kritérium – změna velikosti vibrací

Druhé kritérium umožňuje posuzování změny velikosti vibrací vůči stanovené referenční hodnotě. Tyto změny velikosti vibrací se mohou objevit okamžitě nebo postupem času a mohou charakterizovat vznikající poruchu. Porovnání měření vibrací se musí provádět stejným snímačem na stejném měřeném místě a zhruba za stejných provozních podmínek stroje. Jestliže při zvýšení nebo snížení velikostí vibrací dojde k překročení o 25% horní hodnoty pásma B, jsou tyto změny posuzovány za významné, hlavně pokud jsou náhlé.

5 Analýza měření frekvenčních spekter

Při analýze výsledků měření budeme vycházet z efektivní hodnoty rychlosti vibrací, pro určení provozních pásem mohutnosti vibrací dle normy ČSN ISO 10816-3. Druhý způsob vyhodnocení měření bude v podobě frekvenční analýzy.

Při použití frekvenční analýzy získáme informace o pásmu otáčkových frekvencí, ale i o problémech na násobcích otáčkové frekvence – vyšších harmonických. Frekvenční pásma můžeme rozdělit do tří oblastí:

- **pásmo nízkých frekvencí** - frekvence od nejpomalejších rychlostí otáčení hřídelí až po frekvence nižších násobků hřídelí s největšími otáčkami. Zde se získávají informace o závadách způsobených nevyvážeností, ohybem hřídelí, přesazením hřídelí, nestabilitou radiálních ložisek a uvolněním mechanických vazeb.
- **pásmo středních frekvencí** – zde jsou frekvence nad oblastí nízkých frekvencí až po frekvence od asi 1 po 5 kHz. V této oblasti se projevují poruchy ozubených převodů a převodovek.
- **pásma vysokých frekvencí** – zde jsou frekvence od horní hranice pásma středních frekvencí nahoru a v této oblasti se projevují počínající závady valivých ložisek.

Pro správné vyhodnocení naměřených hodnot vypočítáme budící frekvence jednotlivých součástí zařízení, dle vzorců uvedených v kapitole 1.1.1 a 4.3.

5.1 Výpočet frekvencí radiálního ventilátoru

Základní otáčková frekvence:

$$\text{➤ } f_o = \frac{RPM}{60} = \frac{1460}{60} = 24,3\text{Hz}$$

Lopatková frekvence:

$$\text{➤ } f_L = f_o \cdot n_L = 24,3 \cdot 8 = 194,4 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska 6319 C3:

$$\text{➤ BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 3,096 * 24,3 = 75,2 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ BRFI} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 4,904 * 24,3 = 99,5 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 2,1 * 24,3 = 51 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ FTF} = \frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,387 * 24,3 = 9,4 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska 22324 C3:

$$\text{➤ BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 6,168 * 24,3 = 150 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ BRFI} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 8,832 * 24,3 = 214,6 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 2,658 * 24,3 = 64,6 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ FTF} = \frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,411 * 24,3 = 10 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska 22228 C3:

$$\text{➤ BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 8,211 * 24,3 = 199,5 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ } \text{BPFI} = \frac{n}{2} * \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 10,79 * 24,3 = 262,2 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ } \text{BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{\text{RPM}}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 3,566 * 24,3 = 86,7 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ } \text{FTF} = \frac{1}{2} * \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,432 * 24,3 = 10,5 \text{ Hz}$$

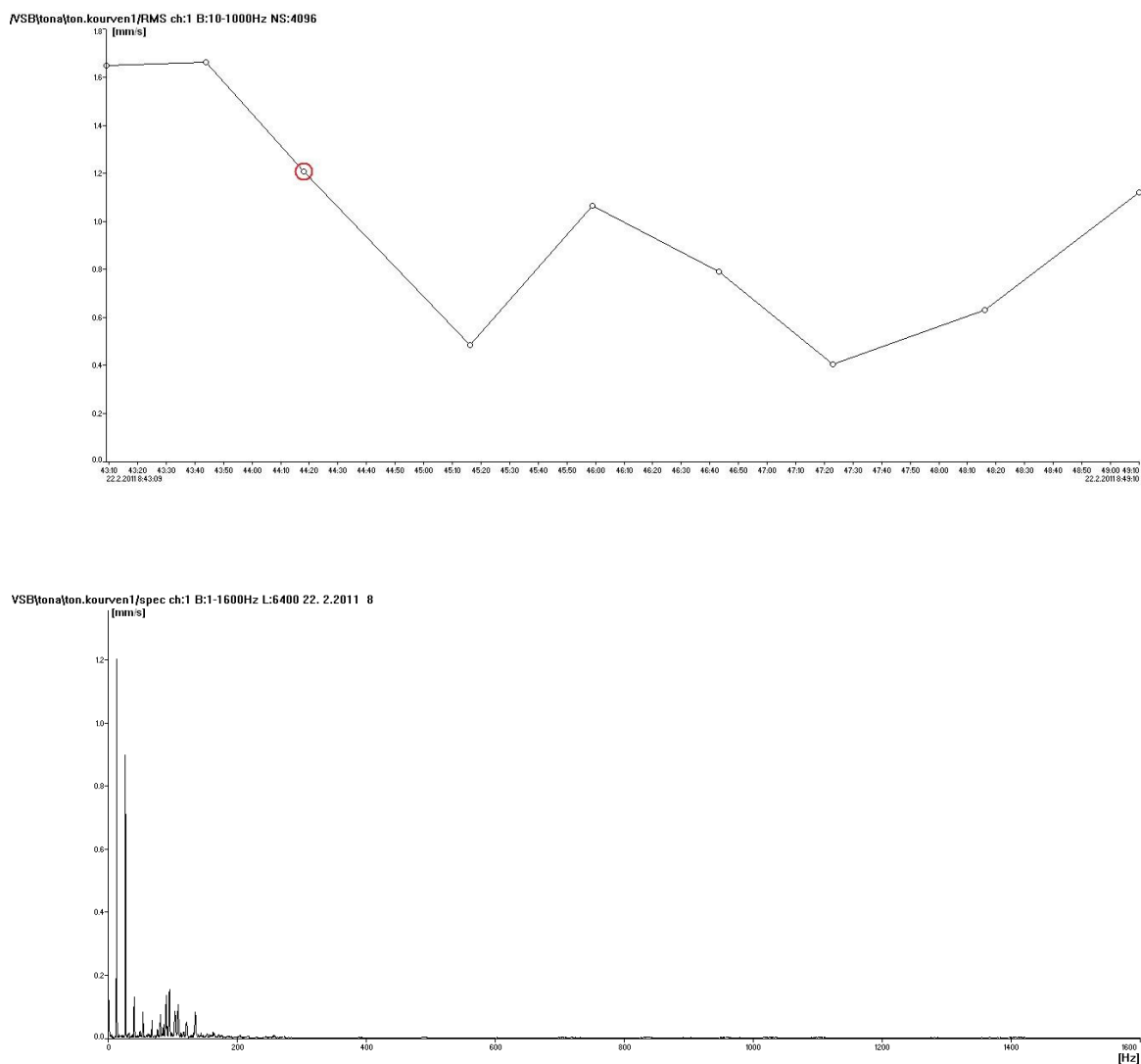
5.2 Analýza frekvenčního spektra radiálního ventilátoru

Dle uvedené normy ČSN ISO 10816-3 je ventilátor odprašovacího zařízení zařazen do skupiny 2 – stroje o střední velikosti se jmenovitým výkonem větším než 15 kW a menším než 300 kW včetně. Stanovené hodnoty provozních mezí dle [7] jsou:

Tabulka 2: Klasifikace pásem mohutnosti vibrací

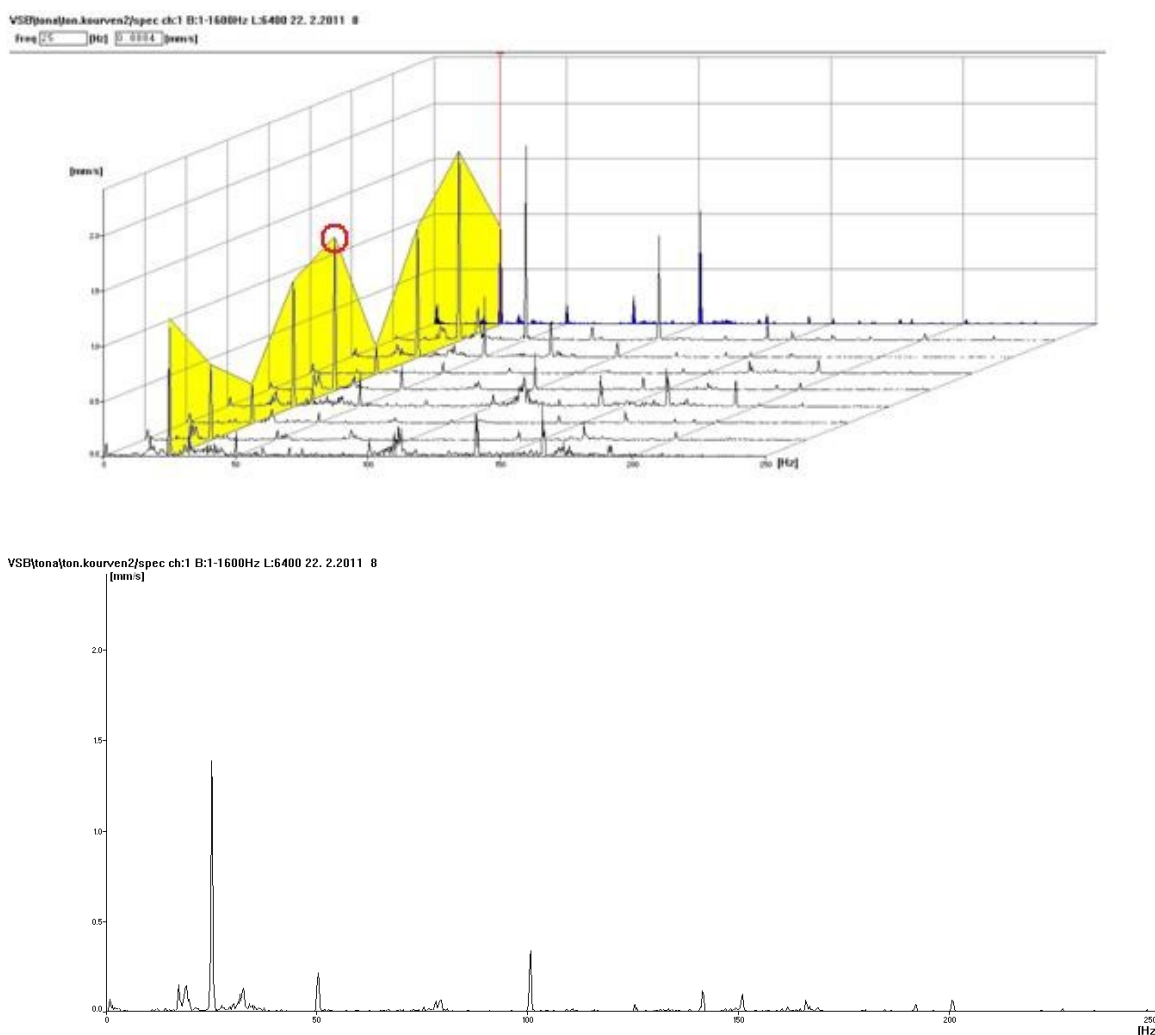
Klasifikace uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota výchylky [μm]	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]
Tuhé	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
Pružné	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

Ve spektru celkových efektivních hodnot rychlosti vibrací prvního radiálního ventilátoru (obr.17) vidíme přehled mohutností vibrací jednotlivých ložisek elektromotoru a ventilátoru. V druhé části je vybrané frekvenční spektrum ložiska elektromotoru v axiálním směru, jehož efektivní hodnota rychlosti vibrací je 1,2 mm.s⁻¹ na otáčkové frekvenci 24,3 Hz a rovněž vyšší špičku na harmonickém dvojnásobku otáčkové frekvence. Vyšší hodnoty na první otáčkové frekvenci a na dvojnásobku otáčkové frekvence může způsobovat dynamická nevyváženost. Tyto hodnoty jsou však nepatrné, ložisko nevyžaduje žádnou zvláštní péči.



Obr.17 Spektra efektivních hodnot rychlosti vibrací radiálního ventilátoru 1

Ve frekvenčním spektru rychlosti vibrací druhého radiálního ventilátoru (obr.18) vidíme kaskádové spektrum přehledu mohutností efektivních hodnot rychlosti vibrací jednotlivých ložisek elektromotoru a ventilátoru. V druhé části je vybrané frekvenční spektrum ložiska ve spojivém ložiskovém tělese v horizontálním směru, jehož efektivní hodnota rychlosti vibrací je $1,4 \text{ mm.s}^{-1}$ na otáčkové frekvenci 24,3 Hz. Vyšší hodnoty na první otáčkové frekvenci nevyvážeností. Hodnoty vibrací poruchových vad ložisek se objevují pouze mírně u prvního ložiska ve vertikálním a horizontálním směru vnitřního kroužku ložiska na frekvenci 99,5 Hz. Tyto hodnoty jsou rovněž nepatrné, ložisko nevyžaduje žádnou zvláštní péči.



Obr.18 Frekvenční spektra rychlosti vibrací radiálního ventilátoru 2

Z analýzy frekvenčních spekter rychlosti vibrací radiálních ventilátorů můžeme konstatovat, že hodnoty ze všech měřicích míst prvního i druhého ventilátoru je možno zařadit do pásma A dle normy ČSN ISO 10816-3 a v tomto pásmu jsou zpravidla vibrace odpovídající za normálních podmínek novým přejímaným strojům. Naměřené hodnoty na otáčkové frekvenci patří nevyváženosti, kterou může způsobovat zanesení nebo opotřebení lopatek oběžného kola nebo opotřebení spojky. Hodnoty vibrací na frekvencích poruchových vad ložisek a lopatkových frekvencí jsou zanedbatelné.

5.3 Výpočet frekvencí axiálního ventilátoru

Základní otáčková frekvence:

$$\triangleright f_o = \frac{RPM}{60} = \frac{985}{60} = 16,4 \text{ Hz}$$

Lopatková frekvence:

$$\triangleright f_L = f_o \cdot n_L = 16,4 \cdot 16 = 262,4 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska 6316 C3:

$$\triangleright \text{BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 3,086 * 16,4 = 50,6 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{BPFI} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 4,914 * 16,4 = 80,6 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 2,073 * 16,4 = 34 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{FTF} = \frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,386 * 16,4 = 6,3 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska NU320:

$$\triangleright \text{BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 5,344 * 16,4 = 87,6 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{BPFI} = \frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 7,656 * 16,4 = 125,6 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 2,724 * 16,4 = 44,7 \text{ Hz}$$

$$\triangleright \text{FTF} = \frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,411 * 16,4 = 6,7 \text{ Hz}$$

Poruchové frekvence ložiska 22318 KM:

$$\text{➤ } \text{BPFO} = \frac{n}{2} * \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 6,158 * 16,4 = 101 \text{ Hz}$$

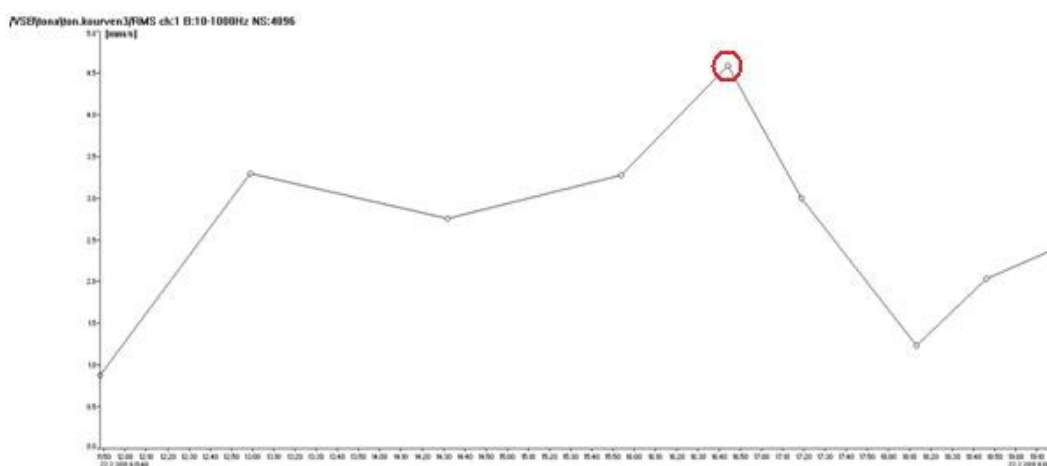
$$\text{➤ } \text{BPFI} = \frac{n}{2} * \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 8,843 * 16,4 = 145 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ } \text{BSF} = \frac{P_d}{2B_d} * \frac{\text{RPM}}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cos^2 \beta\right] = 2,635 * 16,4 = 43,2 \text{ Hz}$$

$$\text{➤ } \text{FTF} = \frac{1}{2} * \frac{\text{RPM}}{60} \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta\right) = 0,41 * 16,4 = 6,7 \text{ Hz}$$

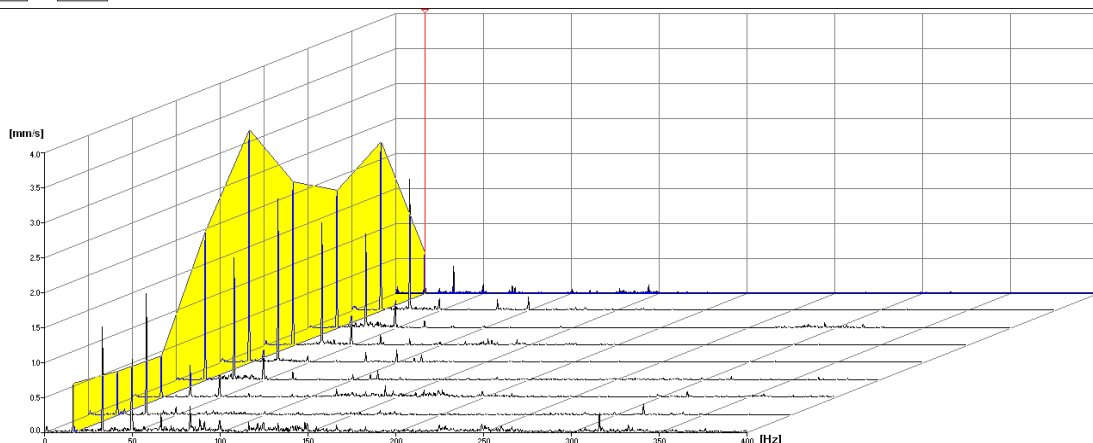
5.4 Analýza frekvenčního spektra axiálního ventilátoru

Ve spektru celkových efektivních hodnot rychlosti vibrací prvního axiálního ventilátoru (obr.19) vidíme přehled mohutností vibrací jednotlivých ložisek elektromotoru a ventilátoru. Zde jsou již patrné nepříjemné vibrace elektromotoru jak na prvním ložisku v horizontálním směru, ale hlavně na druhém ložisku elektromotoru v horizontálním směru.

**Obr.19 Spektrum efektivních hodnot rychlosti vibrací axiálního ventilátoru 1**

V kaskádovém frekvenčním spektru (obr. 20) je vidět patrná paralelní nesouosost jak zadního ložiska elektromotoru v horizontálním a axiálním směru, tak ještě výraznější paralelní nesouosost předního ložiska elektromotoru ve vertikálním, horizontálním i axiálním směru. Nesouosost je patrná i na vnějším ložisku ventilátoru ve všech směrech.

VSB\tona\ton.kourven3\spec ch:1 B:1-1600Hz L:6400 22. 2.2011 9
Freq [16.75] [Hz] [0.5778] [mm/s]



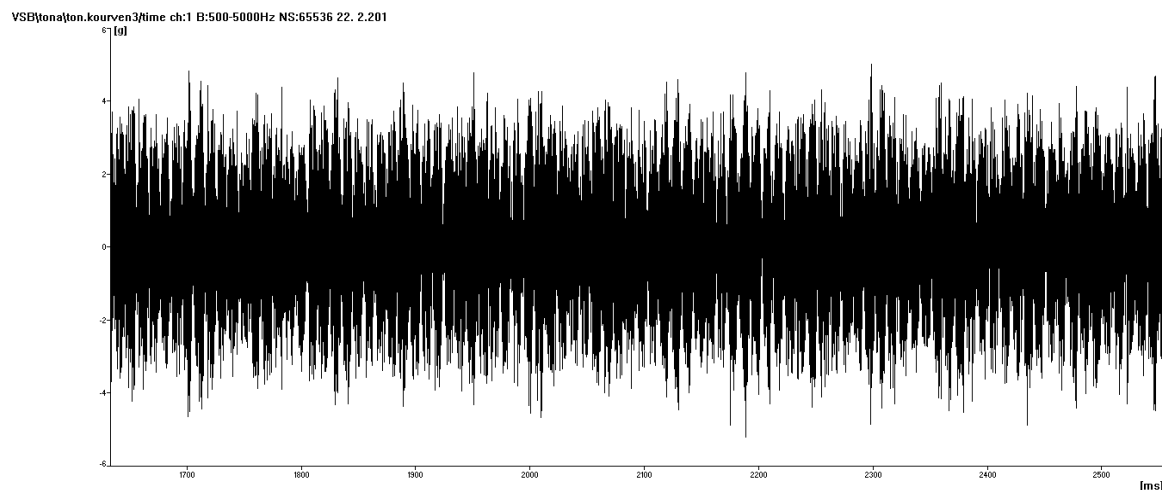
Obr.20 Kaskádové frekvenční spektrum rychlosti vibrací axiálního ventilátoru 1

V horizontálním směru je naměřená efektivní hodnota rychlosti vibrací $3,3 \text{ mm.s}^{-1}$ na otáčkové frekvenci 16,4 Hz. Paralelní nesouosost vibrací je pak přenášena i na vnější ložisko ventilátoru. Na otáčkové frekvenci jsou sice nepatrné vibrace, ale na harmonickém dvojnásobku otáčkové frekvence jsou vidět zvýšené vibrace jak v horizontálním směru, tak i v axiálním směru. Příčinou vyšších hodnot na všech třech měřených ložiscích je v nesprávném ustavení elektromotoru. Další příčinu můžeme hledat v nedokonalé základové kovové konstrukci, ke které je uchycen elektromotor (obr. 21).



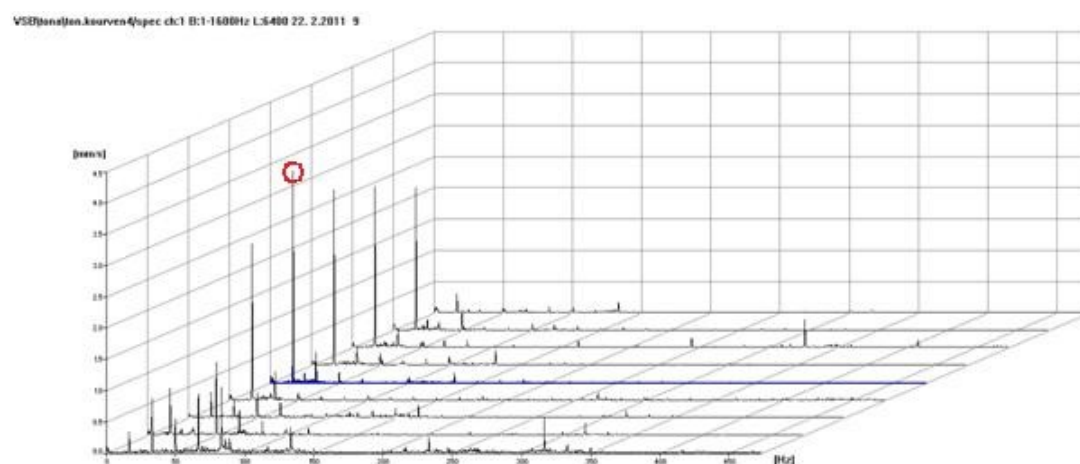
Obr.21 Uchycení axiálního ventilátoru k základu

V časovém záznamu zrychlení (obr. 22) je vidět opakující se velmi mírné narážení valivého elementu na vadu ve vnitřním kroužku ložiska NU320 na frekvenci 125,6 Hz. Měřený časový záznam zrychlení je z předního ložiska elektromotoru v horizontálním směru, jehož opakující hodnota špičky vibrací je 5 [g].



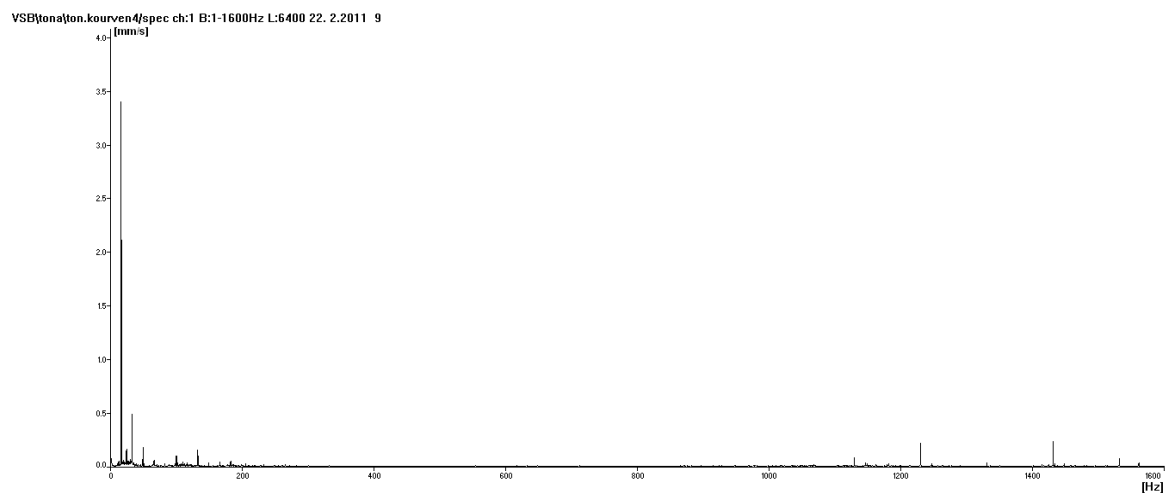
Obr.22 Časový záznam zrychlení ložiska elektromotoru v horizontálním směru

Ve frekvenčním spektru rychlosti vibrací druhého axiálního ventilátoru (obr.23) vidíme kaskádové spektrum přehledu mohutností efektivních hodnot rychlosti vibrací jednotlivých ložisek elektromotoru a ventilátoru. Tady jsou patrné vyšší hodnoty na otáčkové frekvenci 16,4 Hz jak na zadním ložisku elektromotoru v horizontálním a axiálním směru, tak i na předním ložisku elektromotoru ve vertikálním, horizontálním i axiálním směru. Tyto vyšší hodnoty jsou vykazovány nevyváženosti.



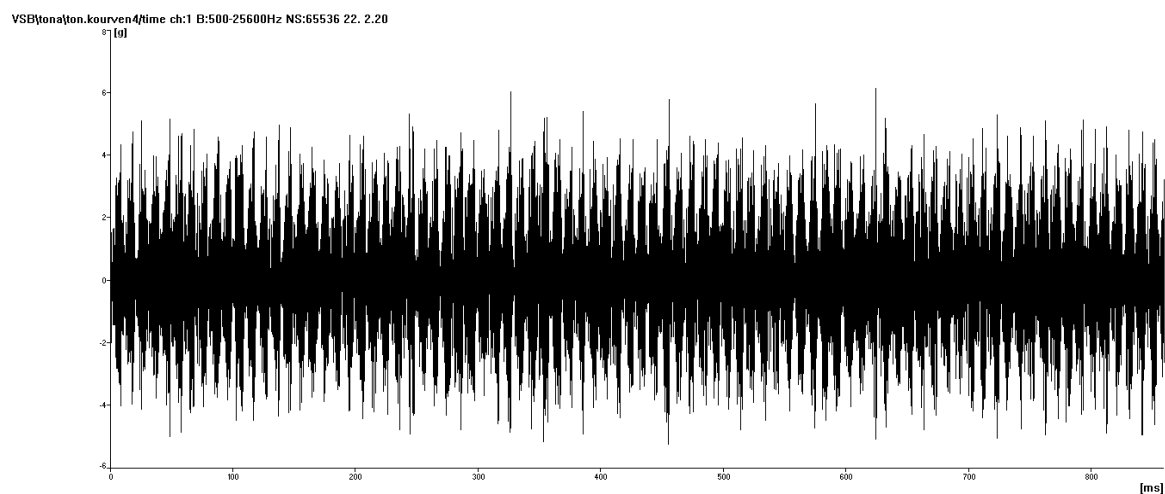
Obr.23 Kaskádové frekvenční spektrum rychlosti vibrací axiálního ventilátoru 2

Ve vybraném frekvenčním spektru (obr.24) předního ložiska elektromotoru v horizontálním směru můžeme vidět již zmiňovanou nevyváženost na otáčkové frekvenci 16,4 Hz, jejíž efektivní hodnota rychlosti vibrací je $3,4 \text{ mm.s}^{-1}$.



Obr.24 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací axiálního ventilátoru 2

V časovém záznamu zrychlení (obr. 25) je vidět opakující se velmi mírné narážení valivého elementu na vadu ve vnitřním kroužku ložiska NU320 na frekvenci 125,6 Hz. Měřený časový záznam zrychlení je z předního ložiska elektromotoru v horizontálním směru, jehož opakující hodnota špičky vibrací je 6 [g].



Obr.25 Časový záznam zrychlení ložiska elektromotoru v horizontálním směru

Tabulka 3: Přehled naměřených hodnot vibrací

Radiální ventilátor č.1		
Měřicí místo	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]	Pásmo
L1V	1,65	A
L1H	1,67	A
L1A	1,2	A
L2V	0,5	A
L2H	1,1	A
L2A	0,8	A
L3V	0,4	A
L3H	0,6	A
L3A	1,15	A
Radiální ventilátor č.2		
Měřicí místo	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]	Pásmo
L1V	1,9	A
L1H	2,4	B
L1A	1,5	A
L2V	0,4	A
L2H	1,7	A
L2A	1,65	A
L3V	0,7	A
L3H	1	A
L3A	2,05	A
Axiální ventilátor č.1		
Měřicí místo	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]	Pásmo
L1V	0,9	A
L1H	3,3	C
L1A	2,8	B
L2V	3,3	C
L2H	4,6	D
L2A	3	C
L3V	1,3	A
L3H	2,1	A
L3A	2,5	B
Axiální ventilátor č.2		
Měřicí místo	Efektivní hodnota rychlosti [mm/s]	Pásmo
L1V	0,5	A
L1H	2,6	B
L1A	2,9	B
L2V	3,1	C
L2H	3,8	C
L2A	2,7	B
L3V	0,9	A
L3H	1,8	A
L3A	2,2	B

Z analýzy frekvenčních spekter rychlosti vibrací axiálních ventilátorů můžeme konstatovat, že hodnoty z měřících míst prvního ventilátoru vykazují zvýšenou nesouosost, jejichž vibrace je možno zařadit do pásma C dle normy ČSN ISO 10816-3. Vibrace jsou v tomto pásmu zpravidla posuzovány za neuspokojivé pro dlouhodobý nepřetržitý provoz. Ventilátor za těchto podmínek můžeme provozovat omezeně do té doby, než nastane vhodná příležitost k nápravě.

Hodnoty z měřících míst druhého ventilátoru vykazují zvýšenou nevyváženost, jejichž vibrace jsou rovněž zařazena do pásma C dle normy ČSN ISO 10816-3. Vibrace jsou v tomto pásmu zpravidla posuzovány za neuspokojivé pro dlouhodobý nepřetržitý provoz. Na časových záznamech zrychlení předních ložisek elektromotorů jsou patrné začínající vady vnitřních kroužků.

6 Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou konstrukce a diagnostikou radiálních a axiálních ventilátorů pomocí bezdemontážní metody vibrodiagnostiky, s určením poruchových frekvencí jednotlivých komponent, provedením praktických měření s následnou analýzou a vyhodnocením frekvenčních spekter vibrací.

Měření vibrací radiálních ventilátorů bylo provedeno na předem určených místech, s výjimkou zadního ložiska elektromotoru, z důvodu nedostupnosti při měření. Na ostatních měřicích místech bylo měření provedeno ve všech měřicích směrech. Následná analýza a vyhodnocení bylo provedeno dle normy ČSN ISO 10816-3, kdy naměřené hodnoty rychlosti vibrací se pohybovaly v nejnižším pásmu a tudíž bez potřeby nadstandardní péče o ložisko.

Při měření vibrací axiálních ventilátorů nebylo opět z důvodu nedostupnosti provedeno měření na vnitřním ložisku ventilátoru a na ostatních měřicích místech bylo měření provedeno ve všech měřicích směrech. Z následné analýzy a vyhodnocení byly zjištěny zvýšené vibrace nesouososti u prvního ventilátoru a zvýšené vibrace nevývahy u druhého ventilátoru s velmi mírnými poruchami vnitřního kroužku předních ložisek elektromotoru. Tyto hodnoty se pohybovaly dle normy ČSN ISO 10816-3 v pásmu C a vibrace jsou zpravidla posuzovány za neuspokojivé pro dlouhodobý nepřetržitý provoz.

Při přípravě nápravného opatření v podobě nového ustavení je potřeba počítat i s nutnou úpravou příčného a podélného zesílení a vyztužení kovové konstrukce pro usazení elektromotoru. Při vyztužení je nutné docílit, aby bylo spojeno se společným kovovým rámem pro ventilátor a elektromotor, který je připevněn na společný základový betonový blok.

Z provozního měření a analýzy naměřených výsledků lze konstatovat, že použití vibrodiagnostiky ke stanovení technického stavu ventilátorů odprašovacího zařízení spalin a odlučovacího zařízení dřevního prachu je dostačující. Vibrodiagnostika výrazně napomáhá ke zjištění technického stavu strojů a je nedílnou součástí systému údržby k bezpečnému a bezporuchovému provozu strojního zařízení.

Literatura

- [1] MATELA,Z.: *Preventivní údržba klíčových strojů*, Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 51 str., Bakalářská práce.
- [2] ZIEGLER,J. - HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, vydala VŠB – Technická univerzita Ostrava 2005, 178 str., dotisk 1. vydání, ISBN 80 – 248 – 0650 – 9
- [3] HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost IV – Provoz a údržba strojů*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2008, 130 str., 1. vydání, ISBN 978 – 80 – 248 – 1690 – 6
- [4] KREIDL, M. – ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*, vydalo nakladatelství BEN Praha 2006, 408 str., 1. Vydání, ISBN 80 – 7300 – 158 – 6
- [5] TŮMA,J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*, Sdělovací technika Praha 1997, 174 str., ISBN 80 – 901936 – 1 – 7
- [6] NOVÝ,R.: *Ventilátory*, vydalo ČVUT Praha 1993, 101 str., ISBN 80 – 01 – 00987 – 4
- [7] ČSN ISO 10816-3.: *Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ*, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 20 str.
- [8] http://www.skf.com/portal/skf_cz/home
- [9] <http://www.adash.cz>
- [10] https://www.ctconline.com/__accelerometers.aspx
- [11] http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36107
- [12] <http://www.klimacz.cz>